

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETON BASINÇ DAYANIMINA BOYUT ve CİDAR ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür ARARAT

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

EKİM 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETON BASINÇ DAYANIMINA BOYUT ve CİDAR ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Özgür ARARAT
(501081224)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Hulusi ÖZKUL

EKİM 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501081224 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Özgür ARARAT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BETON BASINÇ DAYANIMINA BOYUT ve CİDAR ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr.M.Hulusi ÖZKUL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Turan ÖZTURAN**
Boğaziçi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr Ünal Anıl DOĞAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 28 Ekim 2015
Savunma Tarihi : 02 Ekim 2015

ÖNSÖZ

Bu tezin yürütücülüğünü yapan ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen hocam Prof. Dr. M. Hulusi Özkul'a, deneysel çalışmalarım sırasında yardımcı olan İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına, özellikle Sayın Cengiz Şengül'e, üzerimde sonsuz emeği olan ağabeyim Öncü Ararat'a ve çalışmalarım sırasınca her zaman beni destekleyen aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ekim 2015

Özgür ARARAT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1.GİRİŞ	1
1.1 Beton	2
1.2 Betonun Bileşenleri.....	3
1.3 Betonun Mekanik Özellikleri.....	9
1.4 Betonun Basınç Dayanımı.....	9
1.4.1 Normal dayanımlı betonlar	11
1.4.2 Yüksek dayanımlı betonlar	11
1.4.3 Silis dumanı ve silis dumanı katkılı betonun uygulama alanları	11
1.4.3.1 Silis dumanının betonun mekanik fiziksel ve özelliklerine etkileri ...	12
2. BETONUN BASINÇ DAYANIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	15
2.1 Deney Yönteminden Bağımsız Faktörler.....	15
2.1.1 Çimento ile ilgili faktörler.....	15
2.1.2 Karışımdaki agrega ile ilgili faktörler	17
2.1.3 Su / Çimento oranı	17
2.1.4 Sıkıştırma düzeyi.....	19
2.1.5 Betonun deney yaşı	19
2.2 Deney Yöntemi ile İlişkili Faktörler	19
2.2.1 Kür koşulları ve nem etkisi	19
2.2.2 Yükleme hızı	20
2.2.3 Kür ortamının sıcaklığı	20
2.3 Basınç Dayanımına Etkiyen Diğer Faktörler	21
2.3.1 Numune biçimi ve boyutu.....	21
2.3.2 Boyut etkisi	21
2.3.3 Agrega boyutu ve granülometrisi.....	23
2.3.4 Numune ve basınç tablası arasındaki teğetsel gerilme kuvveti.....	23
2.3.5 Numune uç yüzeylerinin hazırlanma şeklinin etkisi	24
2.3.6 Cidar etkisi	24
2.3.7 Doğal taşların basınç dayanımında numune boyut ve şekil ilişkisi	25
2.3.8 Yükleme bloğu ve dış merkezlik (eksantrisite).....	26
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	29
3.1 Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	29
3.1.1 Çimento.....	29
3.1.2 Silis dumanı.....	29
3.1.3 Agregalar.....	30
3.1.4 Kimyasal katkılar	31
3.2 Beton Karışımları	31

3.3 Numunelerin üretimi ve hazırlanması	32
3.4 Numune Boyutları ve Şekilleri.....	33
3.5 Numune Kodlarının Belirlenmesi	36
3.6 Başlıklama İşlemi.....	36
3.7 Yapılan Deneyler.....	36
3.7.1 Taze beton deneyleri	36
3.7.1.1 Çökme deneyi.....	36
3.7.2 Sertleşmiş beton deneyleri	37
3.7.2.1 Basınç deneyi	37
4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRMESİ	39
4.1 Deney Sonuçlarına Ait Çizelgelerin Grafiklerle Açıklanması	40
4.1.2 300 Tonluk basınç makinesinde yapılan basınç deneylerinin sonuçlarının değerlendirilmesi	41
4.1.3 500 Tonluk basınç makinesinde yapılan basınç deneylerinin sonuçlarının değerlendirilmesi	45
5.SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	53

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Numune biçim ve boyutunun basınç dayanımına etkisi.....	22
Çizelge 2.2 : Mermerin numune boyutuna bağlı basınç değerleri.....	26
Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	30
Çizelge 3.2 : Agregaların elek analiz.....	30
Çizelge 3.3 : Silis dumanının özellikleri	31
Çizelge 3.4 : Beton karışım bileşimleri.....	33
Çizelge 4.1 : 300 Tonluk makinede yapılan deney sonuçları.....	39
Çizelge 4.2 : 500 Tonluk makinede yapılan deney sonuçları	40
Çizelge 4.3 : 500 Tonluk makinede yapılan deney sonuçları	41

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : 152 mm çaplı yükleme bloğu düzeneği	27
Şekil 3.1 : D_{maks} : 22mm olan agrega karışım ve referans eğrileri	32
Şekil 3.2 : D_{maks} : 12mm olan agrega karışım ve referans eğrileri	33
Şekil 3.3 : Numune boyutları ve kesim şekilleri.....	34
Şekil 3.4: Mermer kesme makinesi.....	35
Şekil 3.5 : Su jeti makinesi makinesi.....	35
Şekil 3.6 : Numune şekilleri ve boyutları	36
Şekil 3.7 : Çökme hunisi.....	37
Şekil 4.1 : 300 Tonluk basınç makinesinde 50x50 mm basınç deneyi sonuçlar.....	42
Şekil 4.2 : 300 Tonluk basınç makinesinde 75x75 mm basınç deneyi sonuçlar	42
Şekil 4.3 : 300 Tonluk basınç makinesinde 100x100 mm basınç deneyi sonuçlar....	43
Şekil 4.4 : 300 Tonluk basınç makinesinde 150x150 mm basınç deneyi sonuçlar....	43
Şekil 4.5 : 300 Tonluk basınç makinesinde ortalama basınç deneyi sonuçları (C20).....	44
Şekil 4.6 : 300 Tonluk basınç makinesinde ortalama basınç deneyi sonuçları (C50).....	44
Şekil 4.7 : 500 Tonluk basınç makinesinde 50x50 mm basınç deneyi sonuçları.....	46
Şekil 4.8 : 500 Tonluk basınç makinesinde 75x75 mm basınç deneyi sonuçları	47
Şekil 4.9 : 500 Tonluk basınç makinesinde 200x200 mm basınç deneyi sonuçları...	47
Şekil 4.10 : 500 Tonluk basınç makinesinde ortalama basınç deneyi sonuçları (C20).....	48
Şekil 4. 11 : 500 Tonluk basınç makinesinde ortalama basınç deneyi sonuçları (C50).....	48

BETON BASINÇ DAYANIMINA BOYUT VE CİDAR ETKİSİ

ÖZET

Çimento, su, agrega ile kimyasal ve/veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek dayanım kazanan beton, kompozit ve yarı gevrek bir yapı malzemesidir. Yaygın kullanıma sahip bu malzemenin mekanik özelliklerinin başında basınç dayanımı gelmektedir.

Beton, gevrek bir yapıda olması nedeniyle basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Betonun basınç dayanımına nazaran oldukça küçük olan çekme dayanımı betonarme hesaplarda genellikle dikkate alınmaz. Bununla birlikte, basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasında yaklaşık da olsa bir oran bulunmaktadır. Bu nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde, çekme ve eğilme dayanımlarının büyüklükleri hakkında da bilgi edinilebilmektedir.

Basınç dayanımı değerleri göz önünde bulundurulduğunda, bu yapı malzemesi normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı olarak sınıflandırılabilir. Normal dayanımlı betonlar, günümüzde en çok kullanılan genel amaçlı betonlardır. Yüksek dayanımlı betonlara göre çimento dozajları daha az ve kullanılan maksimum agrega boyutu daha büyük olan normal dayanımlı betonlar, nispeten daha düşük maliyette üretilebilmektedir.

Küp basınç dayanımı 60–115 N/mm², silindir basınç dayanımı 50–100 N/mm² arasında değişen betonlar, bugün için yüksek dayanımlı betonlar sınıfına girerler. Silis dumanı, yüksek dayanımlı çimento ve süper akışkanlaştırıcı katkı malzemelerinin kullanımı ile yüksek basınç dayanımlı betonlar üretilebilir.

Aynı geometrik şekle sahip numunelerde, boyut değişmesi durumunda basınç dayanımı değerlerinin önemli ölçüde değişiklik göstermesine boyut etkisi denilmektedir. Bu konuda yapılan deneysel çalışmalar değerlendirildiğinde, artan boyutlarda basınç dayanımlarının küçük boyutlu numunelere kıyasla belirgin şekilde düştüğü, belirli bir boyuttan sonra da basınç dayanımlarındaki düşmenin azaldığı gözlenmektedir. Beton literatüründe basınç dayanımının numune boyutuna bağlı olarak değişimi "boyut etkisi" olarak tanımlanmaktadır. Betonda boyut etkisi, büyüyen hacimle birlikte, heterojen bir malzeme olması nedeniyle kusurların da artmasına bağlanmaktadır.

Basınç dayanımına etki eden bir diğer faktör, betonun kalıp yüzeyi civarında iyi yerleşemeden kaynaklanan farklı bir bileşime sahip olması halidir. Bu durum, betonun dayanımının bu bölgede iç kısımdan daha farklı olmasına sebep olur. Kalıp yüzeyinde oluşan bu katmanın kalınlığı ortalama bir agrega boyutu kadardır. Boyutları küçük numunelerde, bu katmanın etkisi büyük numunelere oranla daha büyük olmaktadır. Çünkü bu katmanın kalınlığı numunenin boyutundan bağımsızdır. Bu duruma cidar etkisi denir.

Bu tez çalışması, beton bloklardan kesme yoluyla elde edilen küp biçimindeki numunelerde cidar etkisinin azalacağı ve böylece boyut etkisinin tek başına değerlendirilebileceği varsayımına dayanmaktadır. Tez kapsamında ayrıca, beton bloklardan kesilerek çıkartılan numunelerdeki, kesilme yöntemine bağlı olarak oluşan tahribatların beton basınç dayanımına olan etkisi de araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında, ilk aşamada, iki farklı beton sınıfı kullanılarak değişik ölçülerde altı farklı numune oluşturulmuştur. Birinci beton sınıfı yüksek dayanımlı, ikinci beton sınıfı normal dayanımlı olarak düşünülmüştür. Birinci beton sınıfında maksimum agrega boyutu 12 mm ve ikinci beton sınıfında 22 mm olarak kullanılmıştır. Bunun yanında, birinci beton sınıfı C50, ikinci beton sınıfı C20 olarak tasarlanmıştır. Yüksek dayanımı temsil eden birinci beton sınıfındaki çimento miktarı 450 kg/m^3 'tür. Diğer taraftan, normal dayanımı temsil eden ikinci beton sınıfındaki çimento miktarı 250 kg/m^3 'tür. Hedeflenen dayanımın elde edilebilmesi için yüksek dayanımlı birinci beton sınıfına çimento miktarının %5'i oranında silis dumanı ilave edilmiştir. Sonuç olarak bu iki beton sınıfının su/bağlayıcı oranı normal dayanım için 0,72, yüksek dayanım için 0,33 olarak elde edilmiştir. Numuneler için değişik ölçülerde plywood kalıplar hazırlanmıştır. Kalıplara dökülen beton yedi gün boyunca üzeri sulanarak sürekli nemli kalması sağlanan çuvallarda saklanmıştır. Sonraki aşamada beton kalıpların muhafaza edildiği çuvallar güneş görmeyen bir bölümde otuz gün boyunca bekletilmiştir. Hazır duruma gelen beton kalıplar sulu kesim mermer kesme makineleri ile farklı boyutlarda kesilmiştir. Kesim işlemi sırasında oluşan tahribatların beton basınç dayanımı üzerindeki etkisini inceleyebilmek için ise 50 mm boyutlu numuneler hem mermer kesme makinesiyle kesilerek hem de tahribatı minimum düzeye indiren su jeti ile kesilerek hazırlanmış ve bu farklı numunelerin karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir.

Beton, homojen yapıya sahip olmayan kompozit bir malzeme olması sebebiyle içerisinde birçok kusur bulundurabilir. Doğal taşlar da beton malzemesi gibi heterojen yapıdadır. Doğal taşların heterojenliği, kaya içerisindeki farklı mineral bileşenlerinin artması, azalması ve minerallerin boyutlarının değişmesi ile açıklanabilir. Fakat doğal taşların heterojen yapısı betonun yapısı ile kıyaslanamayacak kadar düzenlidir. Bunun en önemli nedeni doğal taşların oluşumunda cidar etkisine maruz kalmamasıdır. Aynı kaya üzerinden alınan farklı numunelerde birbirine yakın sonuçlar elde etmek oldukça olasıdır. Fakat aynı kaya türü için farklı kayalardan alınan numunelerde, doğal taşların heterojen yapısından dolayı benzer sonuçları elde etmek bir o kadar zor olmaktadır. Bu nedenle bu tez kapsamında ayrıca, daha önce yapılmış bir çalışma olan doğal taşların basınç dayanımında boyut etkisi de irdelenmiştir.

Bu tez çalışması, hazırlanan numunelerdeki kusurların yapılan deneyler esnasında basınç dayanımına etkisi hakkında birçok veri sunmaktadır. Aynı zamanda, beton numunelerin hazırlanması sırasında uygulanan kesme işleminin doğurduğu hasarın basınç dayanımına etkisi de ele alınmıştır ki bu konu ile betondan alınan karot numunelerin değerlendirilmesinde karşılaşılmaktadır.

SIZE AND WALL EFFECTS ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETES

SUMMARY

Concrete is a widely used construction material that is obtained by mixing cement, water, aggregates and chemical or mineral additive materials up homogeneously. Cement mainly contains chalk and clay which are common in nature. Still actively referred TS - EN - 197-1 standard categorizes twenty seven different cements into five main types such as CEM I (Portland Cement), CEM II (Portland-Composed Cement), CEM III (Slaggy Cement), CEM IV (Pozzolana Cement) and CEM V (Composed Cement).

What is more, aggregates are classified in two groups which are natural aggregates and synthetic aggregates. Natural aggregates are produced using none of the synthetic manufacturing methods except the mechanical processes (e.g. sand, gravel and crushed sand and stone obtained by cutting rocks in crushing machines). Water for concrete production, on the other hand, can be obtained via any drinkable water source that is appropriate for TS-EN-1008 standard without necessitating any additional test method.

Mineral additives used in concrete production can be defined as supplementary materials mixed into concrete mixture with relatively low ratios with respect to cement content to change its fresh and hardened properties. Furthermore chemical admixtures also can be used in concrete production to obtain better fresh and hardened concrete properties.

Concrete obtained through mix of aforementioned materials hardens as time passes while it has great plasticity in the initial a few hours, which provides this commonly used construction material flexible usage conditions. Concrete is a composite material which has semi-brittle structure. One of the main properties of this important material is compressive strength.

Since it has a semi-brittle structure, compressive strength of the concrete is much higher than its tensile strength. Hence, tensile strength of concrete is generally not taken into account in reinforced concrete engineering calculations. On the other

hand, there is an approximate relationship between the compressive strength of concrete and its tensile and flexural strengths. For this reason, it is possible to estimate tensile and flexural strengths of a specific concrete if its compressive strength is available.

Regarding compressive strength values, concretes can be categorized as normal strength concrete and high strength concrete. Normal strength concretes are most widely used general purpose construction materials nowadays. Their cement content is relatively low with respect to high strength concretes. Additionally, aggregates used in normal strength concretes have greater radiuses than aggregates

used in high strength concretes. Nevertheless, production costs of normal strength concretes are much lower than production costs of high strength concretes.

Concretes having cubic compressive strength changes between 60 and 115 N/mm² and cylindrical compressive strength stays between 50 and 100 N/mm² can be classified as high strength concrete considering strength values of other materials used nowadays. Silica fume, high strength cement and superplasticizer materials can be used in production of high strength concretes.

Test samples in different sizes reflect different compressive strength properties even they have same geometrical shapes. This fact is called as size effect on compressive strength of concretes. Experimental studies show that compressive strength of larger specimens are lower than the specimens having same geometrical shapes with smaller sizes. These studies also claim that recession in compressive strength of concrete as the size increases falls into relatively slight values above the specific dimensions. Concrete literature entitle this effect as "size effect". Size effect is due to the increased possibility of containing defects in the material when the size increases.

The other factor affecting the compressive strength is due to the improper compacting of concrete in the vicinity of walls of a mold. This causes the edge part of specimens to have a different type of concrete comparing with the interior parts. The thickness of this layer took place on the mold-interacted surfaces is approximately a maximum aggregate size. For the small size specimens the effect of this layer on the strength properties is higher than those of the larger ones, because the thickness of this layer is not related to the size of the specimen. This phenomena is known as "wall effect".

This thesis presents the effects of the physical dimensions and the mold interacted surface qualities of the cubic shape concrete test specimens, which are obtained via cutting of concrete blocks, on the compressive strength of the concrete itself. Furthermore, influences of the defects, occurred during the cutting process, on the compressive strength of the concrete are also investigated in the scope of the thesis.

Six different test samples are prepared using two different types of concrete at the first stage of the study. First type of concrete represents the high-strength concrete where the second type of concrete stands for the normal-strength concrete. Maximum radius of the aggregates used in the preparation of the first type of concrete is 12 mm while it is 22 mm for the second type of concrete. Moreover, first type of concrete is in C50 concrete strength class and the second type of concrete is in C20 concrete grade. Content of cement in the first type of concrete, representing high strength concrete, was 450 kg/m³ where it was only 250 kg/m³ in the second type of concrete. Silica fume, %5 of the cement content, is added into the high strength concrete in order to obtain desired compressive strength in the first type of concrete. Consequently, water/binder ratio in the first type of concrete was 0,33 while this ratio was 0,72 in the second type of concrete. Plywood molds were prepared in different sizes for the test specimens. Molded concrete blocks are preserved under wet burlaps which are kept moisturized by irrigation for seven days. Afterwards, the blocks were held in a sunless environment for thirty days. Ready to use concrete blocks are cut with water cooled marble cutting machines into different sizes. To be able to investigate effects of damage occurred due to cutting process on compressive strength of concrete, test samples 50 mm were prepared using both marble cutting machine and a water jet which minimizes the damages. Finally, comparison study is conducted to expose influence of cutting methods.

Concrete might have many defects inside since it is a composite material not having homogenous structure. Hence, it is a fair assumption that we would have defects inside the test samples we prepare during and before the experiments in the scope of this thesis. Natural stones have also heterogeneous structures as concretes. Heterogeneity of natural stones comes from increase or decrease in amount of different mineral components inside the stone or change in dimensions of these components. On the other hand, heterogeneous structure of natural stones are much ordered than structure of concrete. Most important reason for this fact is that natural stones are not exposed to wall effect during formation phase. Most probably, different test samples taken from same stone give very close results to each other. However, it is not reasonable to come a same conclusion for different specimens taken from different stones belong to same stone family. In this context, subjected thesis also investigates size effects on compressive strength of natural stones which was found in the literature.

This thesis presents highly valuable data that show how much defects in prepared test samples during experiments affect compressive strength of concretes as well as the effects of cutting process applied during the preparation of specimens, which is an important issue in the coring of concrete.

1.GİRİŞ

Basınç deneyinde kullanılan numunelerin şekil ve boyutlarının deneysel sonuçlar üzerindeki etkilerinin araştırılması beton literatüründe çok fazla çalışmaya konu olmuştur. Konunun önemi aşağıda kısaca açıklanan hususlardan kaynaklanmaktadır:

Farklı uluslara ait standartlarda basınç dayanımı deneylerinde kabul edilen numunelerin şekli ve boyutları da farklıdır. Örneğin, ABD'de basınç deneylerinde 150x300 mm boyutunda silindir numune kullanılır iken Birleşik Krallık Standardında 150 mm boyutlu küp numune esas alınmıştır. Avustralya Standardında ise, Birleşik Krallık Standardında kabul edilenin aksine, 150x300 mm boyutunda silindir numune benimsenmiştir. Yurdumuzda kullanılan TS EN Beton Standardı ve TS 500 Standardı 15x30 cm boyutlu silindir veya 15 cm boyutlu küp numuneleri standard numune olarak öngörmüştür.

Günümüz şartlarında barajlarda kullanılan betonun dışında-maksimum agrega boyutu 25 mm'ye özellikle yüksek dayanımlı beton karışımlarında (> 40 MPa-silindir dayanımı) 10-12 mm'ye kadar düşürülmüştür. Küçülen maksimum agrega boyutuna bağlı olarak aynı özelliklere sahip küp numunelerin boyutu 200mm'den 150 mm'ye çekilmiş, 150x300 mm'lik standart silindir numunelerin yerini ise düzeltme faktörü kullanılarak 100x200 mm boyutundaki numuneler almıştır. Bu durum, şantiye koşullarında daha küçük kapasiteli basınç deney aletinin kullanımına imkan vermesi, kalite kontrol için daha az beton karışımı kullanımı ve numunelerin taşınması açısından önem taşımaktadır. Bu durumda yapılan deneylerin sonuçları üzerinde " boyut etkisi" nin analitik şekilde bilinmesi gerekmektedir.[4]

Verilen yükleme koşullarında taşıyıcı eleman (kolon, kiriş) bazında betonun yerinde dayanımının bilinmesi için $\text{dayanım} = f(\text{boyut})$ bünye ifadesinin deneysel verilerle açıklanarak oluşturulması gerekmektedir. Böylelikle taşıyıcı elemanlarla kıyaslandığında boyutları oldukça küçük olan deney numunelerinden belirlenen basınç, çekme, eğilme ve kayma dayanımlarının taşıyıcı elemanlardaki yerinde değerleri daha gerçekçi ve emniyetli şekilde belirlenebilecektir. Ancak bu şekilde düşünüldüğünde üzerinde deney yapılan numunelerin boyutların değişmesinden

kaynaklı olarak basınç dayanımlarının da değişmesinin nedenlerinin doğru olarak açıklanabilmesi, daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için oldukça önemlidir.

Bu tez çalışması kapsamında başlıca iki ana unsur irdelenmiştir. Bunlardan birincisi basınç deneylerinde kullanılan küp numunelerin boyutlarının basınç dayanımı üzerindeki etkileri, ikincisi ise numunelerin kalıp değen yüzeylerinin basınç dayanımı üzerindeki etkileridir. Günümüz beton teknolojisinde yüksek dayanımlı betonların giderek yaygınlaştığı da göz önünde tutularak özellikle yüksek basınç dayanımlı betonlar kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında yüksek dayanımlı betonların kullanılmasının önemli bir diğer nedeni ise, bloklar halinde hazırlanan beton numunelerin kalıp değen yüzeylerinin ortadan kaldırılması için yapılan kesim işlemleri sırasında oluşacak tahribatların azaltılması olarak değerlendirilebilir. Bunun yanında etkinin düşük dayanımlı betonlardaki durumunu inceleyebilmek için C20 sınıfında betonlar üretilmiş ve aynı deneyler tekrarlanmıştır.

1.1 Beton

Çimento, su, agrega ile kimyasal ve/veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir.

Tarihte beton benzeri puzolanik malzemelerin kullanıldığı yerler arasında Mısır Piramitleri, Çin Seddi, Pantheon ve Ayasofya sayılabilir.

1812 yılında Louis Vicat'ın ilk yapay çimentoyu üretmesiyle başlayan betonun tarihçesi 1824 yılında Joseph Aspdin'in Portland Çimentosunu geliştirmesiyle devam etmiştir. Uzun yıllar Portland Çimentosu kullanılarak üretilen betondan; yollarda, binalarda ve köprülerde yararlanılmıştır. Betonun tarihçesinde önemli kilometre taşlarından birini oluşturan gelişme ise 1903 yılında Almanya'da ilk hazır beton üretiminin yapılması ile yaşanmıştır. Daha sonra, bu yeni sanayinin gereksinimi

olarak betonun nakli ve yerine yerleştirilmesi için transmikser ve beton pompaları geliştirildi ve kullanılmaya başlandı. 1940'lı yıllara gelindiğinde betona çimento, agrega ve su dışında bir bileşen daha katıldı: kimyasal katkı. Gelişen beton

teknolojisi ile birlikte bazı puzolanik malzemelerin (uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı vb.) taze ve sertleşmiş beton özelliklerini geliştirdiği ortaya çıktı ve bu malzemeler de “mineral katkı” adıyla beton bileşenleri içinde yer almaya başladı.

Türkiye'de hazır beton ise ilk olarak 1975 – 1980 yılları arasında bazı inşaat şirketleri tarafından kendi inşaatlarında kullanılmak üzere üretilmeye başlandı. 1994 yılında TSE tarafından ilk hazır beton standardı (TS 11222) çıkartılmış olup, bu standard 2001 yılında revize edilmiş ve 8 Aralık 2004 tarihine kadar yürürlükte kalmıştır. Bu tarihten itibaren ise TS EN 206-1 standardı yürürlüğe girmiştir ve halen bu standard geçerlidir (TS 206 versiyonu).

Betonu günümüzün en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi yapan özellikleri arasında; ucuzluğu, bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler, pompalar ve benzeri araçlarla üretim ve taşınması, ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması; şekil verilebilme kolaylığı; çelik donatı ile çekme dayanımının yetersizliğinin dengelenmesi; yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması; fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı; hafif agregalar kullanılarak hafifletilebilmesi ve pigment kullanılarak renklendirilebilmesi sayılabilir.

1.2 Betonun Bileşenleri

Çimento:

Çimentonun hammaddeleri esas olarak doğada çokça bulunan kalker ve kildir. Kalker ve kil bir miktar kumla birlikte öğütülerek “farin” haline getirilir. Farin döner fırında 1450 °C sıcaklıkta sinterleşinceye kadar pişirilir. Fırından çıkan koyu gri renkteki fındık veya ceviz büyüklüğündeki (1-2 cm) malzemeye “klinker” denir. Klinkere %3 - %5 oranlarında alçıtaşı ilave edilerek değirmende öğütülür ve Portland Çimentosu elde edilir. Halen yürürlükte olan TS EN 197-1 standardının kapsamında 27 farklı genel çimento 5 ana tip altında gruplandırılmıştır. Bunlar; CEM I (Portland Çimentosu), CEM II (Portland-Kompoze Çimento), CEM III (Cürufu Çimento), CEM IV (Puzolanlı Çimento) ve CEM V (Kompoze Çimento)'dir.

Agrega:

Agregaları 2 grupta toplamak mümkündür:

Doğal agregalar; mekanik işlem dışında herhangi bir işleme tabi tutulmamış olan mineral kaynaklardan elde edilen agregalar.(tabi kaynaklardan elde edilen kum, çakıl; doğadaki kayaların konkasörde kırılması ile elde edilen kırma kum veya kırma taş)
Yapay agregalar; ısı veya diğer uygulamaları ihtiva eden bir endüstriyel işlem sonucunda elde edilen mineral kökenli agregalar.(yüksek fırın cürufu agregası, perlit hafif agregası gibi).

Betonda genellikle doğal agregalar kullanılır.

İnce agreg: 4 mm. elekten geçen agreg

İri agreg: 4 mm. eleğin üstünde kalan agreg

Agregaların betonda kullanımını belirleyen bazı fiziksel özellikleri şunlardır: birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme, granülometri (tane dağılımı), aşınma direnci (Los Angeles), tane şekli (yassılık indeksi), donma-çözülme direnci ve alkali-silika reaktifliğidir.

Karma suyu:

TS EN 1008'e göre içilebilir özellikteki sular herhangi bir deneye gerek duyulmaksızın beton imalinde kullanım için uygun kabul edilmektedir. Bunun dışında beton karma suyu olarak kullanılacak olan sular için bahsi geçen standardda alkali, şeker, fosfat, nitrat, kurşun, çinko muhtevaları ve pH için limit değerler belirtilmiştir.

Kimyasal katkıları:

Genel anlamda; taze veya sertleşmiş betonun bazı özelliklerini değiştirmek üzere, karıştırma işlemi esnasında betona, çimento kütleline oranla az miktarlarda ilave edilen malzeme olarak tanımlanabilir. TS EN 934-2 standardı kimyasal katkıları 9 sınıfta toplamıştır. Bunlar; su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları, yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkıları, priz hızlandırıcı katkıları, su tutucu katkıları, hava sürükleyici katkıları, su geçirimsizlik katkıları, erken dayanım kazanma hızını arttıran katkıları ve çok amaçlı katkılarıdır.

Kimyasal katkıların beton yapıların durabilitesi ve maliyetlerine katkıda bulunduğu bilinmektedir. Kimyasal katkıların geliştirdiği özellikler betonun işlenebilirliği ve sıkıştırılmasında sağlanan kolaylıklar, sertleşmiş betonun geçirgenliğini azaltma, ve donma çözülme dayanımını artırma olarak sayılabilir.

Beton Standardına göre, betonda kullanılacak katkıların toplam miktarı, katkı imalatçısı tarafından önerilen en fazla miktarı ve daha yüksek miktar kullanımının beton performans ve dayanıklılığı üzerinde olumsuz etkisi olmadığı belirlenmemişse 1 kg çimento için 50 g'ı geçmemelidir. 2g /1kg çimento oranından daha az miktarda kullanılan kimyasal katkıların kullanımına, karışım suyunun bir kısmı içerisine karıştırılması şartıyla izin verilir. Sıvı katkıların toplam miktarı, birim hacim (1m³)

beton için 3 litreden daha fazla ise, betonun su/çimento oranının hesaplanmasında katkıda bulunan su miktarı dikkate alınır. Birden fazla katkının aynı beton harmanında kullanılması durumunda, bu katkıların birbiriyle uyumluluğu başlangıç deneyleriyle kontrol edilmelidir. Taze beton kıvamı S4, V4, C3 veya F4 olan betonlar, yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkılarla imal edilmelidir.

Kimyasal katkıların özellikleri TS EN 934-Kimyasal Katkılar – Beton, Harç ve Şerbet için standart serisinde belirlenmiştir. B standardda aşağıdaki bölümler bulunmaktadır.

Bölüm 2- Beton Katkıları

Bölüm 3- Harç Katkıları

Bölüm 4- Şerbet Katkıları

Bölüm 5- Püskürtme Beton Katkıları

TS EN 934-2 aşağıdaki tiplerde katkıları içerir:

- Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkıları
- Yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı katkıları
- Su tutucu katkı
- Hava sürükleyici katkı
- Priz hızlandırıcı katkı
- Priz geciktirici katkı
- Su geçirimsizlik katkısı
- Priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları
- Priz geciktirici /yüksek oranda su azaltıcı /süper akışkanlaştırıcı katkıları
- Priz hızlandırıcı / su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkıları

Kullanımda olan diğer tip katkıları TS EN 934-2 içermemektedir, fakat TS EN 206-1'e göre uygunluğun sağlanması şartıyla kullanılabilir.

Bu Katkı tipleri;

- Korozyon önleyiciler

- R tre engelleyiciler
- Su altı beton katkıları
- Prekast beton katkıları

Beton  retiminde yaygın olarak kullanılan kimyasal katkı tipleri ise aŗağıdaki Şekilde sıralanabilir:

Su azaltıcı / akıŗkanlaŗtırıcı kimyasal katkıları:

Bu katkının iŗlevi, su miktarını değıŗtirmeden taze betonun iŗlenebilirliğıni (kıvamını) arttırmaktır. Bu katkılar  imento tanelerine negatif elektrostatik y k yüklerler. Tüm taneciklerin yükleri aynı olduğından,  imento tanecikleri birbirlerini iterler. Bu sayede,  imento ve agrega taneleri arasındaki sürtünme kuvveti azalır, ayrıca çimentonun topaklanması (flok lleŗme)  nlendiğınden taneler arasında hapsolmüş su kıvamda artıŗa yol açar ve beton daha homojen bir yapıya sahip olur.

Bu katkıların bir diğ r kullanım amacı ise, taze betonun aynı kıvama sahip katkı içermeyen referans betona göre daha az su ile yapılabilmesi, bu nedenle erken ve ileri yaŗlardaki basınç dayanımlarında artıŗın sağlanmasıdır.

Bu katkılar iki grupta toplanabilir:

a) Normal veya orta su azaltıcı/akıŗkanlaŗtırıcı katkıları: Su azaltma miktarı katkısız referans betona göre % 5-10 olan katkıları. Bu katkılar hazır beton endüstrisinde ve prefabrik beton endüstrisinde betona akıŗkanlık kazandırmak amacıyla kullanılmaktadır.

b) Yüksek oranda su azaltıcı/süper akıŗkanlaŗtırıcı katkıları: Su azaltma miktarı katkısız referans betona göre en az % 12 olan katkıları. Bu katkılar yüksek akıŗkanlık istendiğinde, yüksek erken dayanım istenen yerlerde, su geçirimsizlik aranan elemanlarda, erken kalıp alınması gereken yerlerde kullanılmaktadır.

Su tutucu katkıları:

Bu katkılar taze betonda su kusmayı (terleme) azaltıcı katkılardır. Bu katkıların bir iŗlevi de, d ŗ k harç fazına sahip olan betonların çökme ve ayrıŗma eğilimini engellemektir. Bunlar suyun viskozitesini arttırarak karıŗımı daha kohezif (tutucu) , homojen ve iŗlenebilir hale getirirler. Bu tip katkılar boŗluksuz betonlarda, kendiliğınden yerleŗen betonlarda ayrıŗmayı engellemek için ve hafif betonlarda

hafif agregaların karışım içinde homojen dağılmasını sağlamak için kullanılmaktadır.

Su geçirimsizlik katkıları:

Bu katkılar su geçirgenliğini engellemek için tasarlanmışlardır. Bunlar çimentonun ana bileşenleriyle reaksiyona girerek kılcal (kapiler) boşlukların su emmesini durdururlar. Bu katkılar betona bir miktar da hava sürüklediklerinden dolayı, dayanımın azalmaması için kullanımı sırasında dozajın belirli bir optimum miktarı aşmamasına dikkat edilmelidir.

Hava sürükleyici katkılar:

Bu katkılar beton bünyesinde küçük boyutlu (0,02-0,3 mm. çaplı) yapay hava boşlukları oluşturarak betonun donma-çözülme dayanımını arttırmaları. Betonun kılcal boşluklarında donan ve hacmi %9 kadar genişleyen su, oluşan bu hava boşluklarının içinde genişerek betona bir zarar vermez. Bu özellik açık saha betonlarında, havaalanı pistlerinde ve buz çözücü tuz kullanılan yerlerde betonu donma-çözülme etkilerine karşı korurlar. Bu katkılar betonun işlenebilirliğini de bir miktar arttırmaları.

Priz hızlandırıcı katkılar:

Bu katkılar çimento ile su arasındaki reaksiyonu özellikle erken yaşlarda hızlandırarak, hidrasyonun hızlı gelişmesini ve hidrasyon ısısının yükselmesini sağlarlar. Bu yüzden soğuk havada beton dökümü sırasında yarar sağlayabilir. Bu katkıların üretici firmaların önerdiği dozajlarda kullanılması gerekir.

Priz geciktirici katkılar:

Bu katkılar çimento ile su arasındaki reaksiyonu yani hidrasyonu dolayısıyla priz süresini 2-12 saat arasında geciktirirler. Bu sayede betonun işlenebilme süresi uzar. Bu katkılar sıcak havada beton dökümünde ve soğuk derz oluşması istenmediği durumlarda kullanılır.

Bşrden fazla katkı biearada kullanılma durumunda katkıların birbirleri ile uyum sorunu oraya çıkabilir; bu durumda katkıların performansı kontrol edilmelidir. Beton katkılarının performansı TS EN 934-2 tarafından tek etkili katkıların ana fonksiyonlarına ve çift etkili katkıların ana ve ikincil etkilerine göre kontrol edilir.

Kimyasal katkıların performansı referans betona göre belirlenir. Deney karışımı (kimyasal katkı) kontrol karışımıyla (katkısız) kıyaslanır [2].

Mineral katkılar:

Günümüzde beton teknolojisinde en çok kullanılan mineral katkılar uçucu kül, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufudur. Puzolanlar, tek başlarına hiç veya çok az bağlayıcı özelliği olan, ince öğütüldüklerinde su ve sönmüş kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanan malzemelerdir.

Bunlardan uçucu kül; pulverize edilmiş antrasit, linyit veya bitümlü kömürün elektrik üretim termik santrallerinde yakıldığı fırınların baca gazlarındaki toz benzeri taneciklerin elektro statik veya mekanik yolla çöktürülmesi ile elde edilir (TS EN 450). Uçucu kül, çimentonun bir parçası olarak çimento fabrikasında çimentoya ekleneceği gibi ayrı bir bileşen olarak beton santralinde betona da ilave edilebilir. Uçucu kül, taze betonun işlenebilirliğini arttırırken çimentodan daha ince tane boyutu dolayısıyla betondaki muhtemel boşlukları doldurarak betonun geçirimsizliğini de arttırır. Ayrıca puzolanik reaksiyon sonucu çimentonun hidratasyon ürünü olan C-S-H elemanlara benzer yapılar oluşturur. Sülfat ve diğer zararlı kimyasallar ile alkali-agrega reaksiyonu genleşmelerine karşı betonun dayanıklılığı arttırır. Uçucu külün betonda kullanımı, çimento üretimindeki yakıt maliyetinin azalması ve atık malzemenin değerlendirilmesi açısından ülke ekonomisine katkı sağlarken çevreye zararlı atık malzemelerin azalmasına da yardımcı olur.

Granüle yüksek fırın cürufu ise; demir-çelik üretim fabrikalarında yüksek fırında pik demir elde edilirken demir cevheri içindeki silisyumdioksit ve dialüminyumtrioksit içeren gayrisaflikların yumuşatıcı olarak katılan kalkerdeki kalsiyumoksit tarafından bağlanması sonucu oluşur. Cürufun fırın çıkışında hızla soğutulması sonucu en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekir.

Silis dumanı ise; silisyum ve ferrokrom alaşımlarının üretimi sırasında elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsın kömürle indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli baca tozudur. Çimentodan yaklaşık 100 kat daha ince bir malzeme olup (ortalama tane çapı 0,1µ) agrega-çimento hamuru ara yüzeyindeki tüm boşlukları doldurarak yüksek aderans ve geçirimsizlik sağlar. Silis dumanı, betonun dayanım ve sülfat, klor ve diğer kimyasallara karşı dayanıklılığını önemli ölçüde arttıran bir puzolandır.

1.3 Betonun Mekanik Özellikleri

Beton kompozit ve yarı gevrek bir malzemedir. Betonun kendine özgü davranışı, zaman ve yük geçmişi ile ilişkilidir. Betonun mekanik özelliklerinden bahsedildiğinde ön plana çıkan betonun basınç dayanımı ve deformasyonudur.

1.4 Betonun Basınç Dayanımı

Beton gevrek bir yapı malzemesi olması nedeniyle basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Betonun basınç dayanımına nazaran oldukça küçük olan çekme dayanımı betonarme hesaplarda genellikle dikkate alınmadığından, üzerinde durulan en önemli özelliği basınç dayanımıdır. Betonun basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasında yaklaşık da olsa bir oran bulunmaktadır. Bu nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde, çekme ve eğilme dayanımlarının büyüklükleri hakkında da bilgi edilebilmektedir.

Betonun standart basınç dayanımı suda saklanmış 28 günlük, çapı 150 mm, uzunluğu 300 mm olan silindirik numunelerin tek eksenli basınç dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlarla hesaplanır.

Deneysel uygulama kolaylığından kaynaklı olarak ülkemizde ve diğer bazı ülkelerde silindir yerine çoğunlukla 150x150x150 mm küp numuneler kullanılmaktadır. Küp ve silindir numuneler arasındaki ilişkiyi saptayabilmek için birçok deney yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda, silindir dayanımının küp dayanımına oranının ortalama 0,80-0,85 arasında olduğu tespit edilmesine karşın birçok numunede bu oranın 0,7'ye kadar düştüğü görülmüştür. Bu durumda küp dayanımı 0,8-0,85 gibi bir katsayı ile çarpılarak silindir dayanımına çevrilebilirse de, bunun her zaman kesin olmadığı bilinmektedir.

- Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar sonucunda silindir numunelerin küp numunelere göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sebepten dolayı 25 yıl kadar öncesine kadar standart numune olarak küp şeklini benimseyen Avrupa Beton Komitesi (CEB) de Amerika B. D. gibi silindir numuneyi standart beton numunesi olarak kabul etmiştir. Bunun tercih edilmesindeki belli başlı nedenler aşağıda sıralanmıştır.
- Küp numunesinin yüzey alanı ve dayanımı silindir numuneye göre daha büyük olduğundan, kırılma yükü yaklaşık % 40 daha fazladır. Bu durumda

numuneyi kırmak için daha yüksek kapasitede bir basınç makinesine ihtiyaç duyulmaktadır.

- Küpün keskin köşelerinde büzülmeden (rötre) kaynaklı olarak k  e bölgelerinde gerilme yığılmaları oluşmaktadır.
- 15x15x15 cm lik bir küp numunenin kalıp değen yüzeyi yüksekliği 19.09 cm ve 15 cm çapında ki (aynı hacimde) bir silindirik numunenin kalıp değen yüzeyine eşittir.

$$15 \times 15 \times 15 = \Pi \times 15 \times 19.09$$

-   Bu bütün eşit hacimdeki küp ve silindirik numune için geçerlidir.
-   Silindirik numunenin çapı k p numunenin kenar uzunluğuna eşit ise ;
(Y)
-   $Y \times Y \times Y = Y^3 = (\Pi \times Y \times h) / 4$ hacimler e itlendiğinde ,
-   $h = 4 \times Y^3 / (\Pi \times Y^2)$, $h = 4 \times Y / \Pi$

$Y \times Y \times 4 = \Pi \times h$ kalıp değen yüzeylerin eşit olduğu söylenebilir

- Betonun kalıp yüzeyine değen bölümlerinde yeterince sıkı tırılmamasından kaynaklı olarak kusurlar (cidar etkisi) oluşmaktadır .
- K p deneyinde kırılma eğik çatlakların oluşması ile ba lar ve artarak devam eden bu çatlaklar numunenin bir piramit şeklinde kırılmasına neden olur. Eksenel basınç altındaki bir numunenin piramit şeklinde kırılı ının nedeni, basınç deney aletinin tablaları ile numune arasındaki sürtünmeden oluşan, yük eksenine dik kuvvetlerdir [7].
- Betonlar basınç dayanımlarına göre üç ana gruba ayrılırlar;
- Düşük dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 20 N/mm²'den az olan betonlardır.
- Normal dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 20–40 N/mm² arası olan betonlardır.
- Yüksek dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 40 N/mm²'den fazla olan betonlardır [15].

Bu tez kapsamında normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı beton sınıflarının basınç dayanımından bahsedeceğiz.

1.4.1 Normal dayanımlı betonlar

Normal dayanımlı betonlar, günümüzde en çok kullanılan genel amaçlı betonlardır. Yüksek dayanımlı betonlara göre çimento dozajları daha az ve kullanılan agrega çapı ortalaması daha büyük olan normal dayanımlı betonlar yüksek dayanımlı daha düşük maliyetle üretilebilmektedir .

Basınç dayanımının artmasıyla beraber sünek davranışın azaldığı bilinmektedir. Normal dayanımlı betonlar bina, yol, köprü, tünel, baraj ve prefabrik yapı elemanları gibi, pek çok alanda kullanılmaktadır. Beton teknolojisinin gelişmesiyle, her ne kadar üstün niteliklere sahip betonlar üretilse de, normal dayanımlı betonlar uygulamada her zaman yer bulmaktadır [16].

1.4.2 Yüksek dayanımlı betonlar

Beton teknolojisinin gelişmesine paralel olarak ortaya çıkan yeni tekniklerin uygulanması, kimyasal ve mineral (özellikle silis dumanı) katkılardaki gelişmeler ve liflerin kompozit yapı oluşturulmasında kullanılması ile meydana gelen yüksek dayanımlı betonlar, normal betonlardan daha üstün iç yapı ve mekanik davranışa sahip betonlardır [1].

Küp basınç dayanımı 60–115 N/mm², silindir basınç dayanımı 50–100 N/mm² arasında değişen betonlar, bugün için yüksek dayanımlı betonlar sınıfını girerler. Silis dumanı, yüksek dayanımlı çimento ve süper akışkanlaştırıcı malzemelerin kullanımı ile yüksek basınç dayanımlı betonlar üretilebilir. Özellikle silis dumanının, süper akışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılması ile çimento hamurundaki boşluklar dolar ve kılcal çatlakları çok belirgin şekilde azalır ve üstün basınç dayanımı elde edilir. Bu çalışmada da çimento dozajının %5 i oranında olmak koşuluyla silis dumanından yararlanılmıştır [5,7].

1.4.3 Silis dumanı ve silis dumanı katkılı betonun uygulama alanları

Silis dumanı silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozdur. Fırınların düşük sıcaklıktaki üst bölümlerinde SiO gazı hava ile temas ederek hızla okside olur ve amorf SiO₂ olarak yoğunlaşarak silis dumanı bileşiminin hemen tamamını oluşturur. Alaşımdaki silisyum içeriğine bağlı olarak silis dumanındaki

SiO₂ miktarı da artar. Bu miktar silisyum metalinde %98'e ulaşır Silis dumanı katkılı çimento ve betonlar yüksek dayanım ve dayanıklılık isteyen yerlerde kullanılmaktadır.

Uygulama alanları olarak yerinde dökülmüş veya prefabrike yüksek dayanımlı veya erken dayanımı yüksek beton elemanları, ağır aşınmaya maruz döşemeler ve yol kaplamaları, erozyona ve oyulmaya maruz hidrolik yapılar, zararlı kimyasallara maruz betonlar, deniz yapıları, yüksek dayanımlı hafif beton elemanlar, beton elemanların onarımı ve güçlendirilmesi, çelik donatının korunması, yüksek performanslı çimento şerbet ve sıvaları sayılabilir. [14]

Türkiyede silis dumanı Antalya'da Eti Elektrometalurji A.Ş. tesislerinde elde edilmektedir. Ferrosilisyum ve silikoferrokrom baca tozları olarak yıllık üretim miktarları toplam 1.000-2.000 ton arasında değişmektedir. Buradan elde edilen silis dumanı 1980 li yılların sonlarından itibaren özellikle üniversitelerimizde çimento ve beton katkı maddesi olarak çeşitli araştırmalarda kullanılmıştır [22].

1.4.3.1 Silis dumanının betonun mekanik fiziksel ve özelliklerine etkileri

Özellikle genç yaşlardaki betonlarda iri agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki arayüzey bölgesi hamurun diğer bölgelerinde daha zayıftır. Bunun nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Taze betonun terlemesi sırasında iri agrega taneleri altında toplanan su ara yüzey bölgesinde s/ç oranısını yükseltir ve boşluk yüzdesi artar.
- Gene aynı nedenle çimento ana bileşenlerinden kalsiyum silikatların (C₂S, C₃S) hidratasyonu sonucu ortaya çıkan kalsiyum hidroksit (CH) kristalleri bu bölgede daha büyüktür ve miktarca daha fazladır. Hidratasyonun başlıca ürünü ve hamurdaki esas bağlayıcı madde olan kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerine oranla CH'nin bağlayıcılık değeri çok daha azdır. Ayrıca kristallerin boyu büyüdükçe toplam yüzey alanı ve dolayısı ile van der Waals kuvvetleri daha da zayıflar.
- İri agrega yüzeyi boyunca katı taneler çeper etkisi nedeni ile daha gevşek bir düzen içinde yer alırlar. Burada hamur boşluk oranı daha da artar.

Araştırmacılar silis dumanı katkısının beton dayanımı üzerindeki olumlu etkisini daha ziyade agrega-hamur arayüzeyini kuvvetlendirmesine bağlamaktadırlar. Bazılarına göre çimentonun %15'i yerine katıldığında ortalama her çimento tanesine

karşın iki milyon silis dumanı tanesi girmektedir. İnce silis dumanı taneleri ara yüzeydeki boşlukları doldurmakta, terleme azaldığı için agrega taneleri altında daha az su toplanmakta ve daha yapışkan hale gelen hamur ile agrega taneleri arasındaki fiziksel aderans artmaktadır. Sellevold'a göre çok ince taneli mineral katkıları -kalker tozu dahil- çimentonun ilk yaşlardaki hidrasyonunu hızlandırmaktadır .Ayrıca bu tür ince taneler CH kristalleri için de daha fazla sayıda çekirdeklenme noktası sağladıklarından ara yüzeydeki iri CH kristalleri yerine daha küçükleri oluşmaktadır.

Bunlara ek olarak silis dumanının beton üzerinde ki bir diğer önemli etkisi de priz alma süresi üzerinde kendini göstermektedir. Silis dumanı katkılı çimento hamurları genellikle daha geç priz alırlar. Katkı miktarı çimento ağırlığının %10'unu geçmedikçe bu etki önemsenebilir. Kullanılan akışkanlaştırıcı katkıların da priz geciktirici etkileri olabilmektedir [8].

2. BETONUN BASINÇ DAYANIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Betonda araştırılan en önemli dayanım türü, basınç dayanımıdır. Bunun nedenleri; beton basınç dayanımını bulmak için uygulanan yöntem, diğer dayanım türlerinin bulunması için uygulanan yöntemlerden daha basittir. Hemen hemen tüm yapıların tasarımında, beton basınç dayanımı kullanılmaktadır. Bunun yanında, eğilme, çekme ve yorulma gibi dayanım türleri ihmal edilmektedir. Betonun basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasında yaklaşık τ olsa bir korelasyon bulunmaktadır. Bu nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde, diğer 2 dayanım büyüklükleri hakkında da fikir elde edilebilir. Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında nicel bilgi de sağlamaktadır. Örneğin, betonun basınç dayanımının yüksek olması, betondaki su geçirgenliğin az olduğunu ve dolayısı ile dayanıklılığın yüksek olduğunu işaret etmektedir.

Beton basınç dayanımının elde edilmesine yönelik standart deney yöntemi TS 3114, ASTM C 31 ve ASTM C 39'da verilmektedir. Bu konuda, ASTM ve TS birbirine benzemektedir. Standart deney yönteminin uygulamasında, beton standartlarında belirtilen standart silindir veya küp numuneler kullanılmaktadır. Betonun basınç dayanımı beton bileşenleri dışında da belirli parametrelerle ilişkilendirilebilir. Bu kapsamda betonun dayanımını etkileyen faktörler;

- a) deney yönteminden bağımsız faktörler (betonun bileşenleri),
- b) deney yöntemi ile ilişkili faktörler (yükleme hızı, numunenin boyutları, kür koşulları, betonun yaşı, deney anındaki ortam sıcaklığı) olmak üzere iki gruba ayrılır.

2.1 Deney Yönteminden Bağımsız Faktörler

2.1.1 Çimento ile ilgili faktörler

Çimento cinsi ve miktarı basınç dayanımını etkiler. Yüksek dayanımlı çimento (PÇ 52,5 gibi) ile üretilen betonun dayanımı, PÇ 42,5 ve PÇ 32,5 ile üretilen betona göre daha yüksek olacaktır. Ayrıca çimentoların hidrasyon hızlarına bağlı olarak, betonların dayanımları zaman içinde farklı oranlarda artar. Portland çimentosunun

beton dayanımı üzerindeki etkisi çimentonun kimyasal bileşimi ile inceliğine bağlıdır. Çimentonun 4 ana bileşeninden (C_3S , C_2S , C_3A ve C_4AF) C_3S erken dayanımı sağlarken C_2S ileri yaşlardaki dayanımdan sorumludur. Yüksek C_3S içeriği ile yapılan betonlar daha hızlı dayanım kazanırlar ancak, uzun dönemli dayanımları bir miktar daha küçük olabilir.

Çimentodaki değişkenlikler beton dayanımına da yansıyabilir. Dolayısıyla beton tasarımı yapılırken daha yüksek amaç dayanımları seçilmelidir. Aynı tipteki çimentoların özellikleri üretildikleri fabrikaya göre değişebildiği gibi, aynı fabrikada üretilse bile zamanla ham maddelerden, bunların oranlarından, yanma koşullarından, işçilikten dolayı farklılık gösterirler. Çimento kalitesindeki bu oynamaların beton dayanımlarında %5 mertebelerinde değişime yol açacağı tahmin edilmektedir. Beton dayanımı üzerindeki çimento değişkenliğinin bağlı etkisi yüksek dayanımlı betonlarda normal dayanımlı betonlara göre daha fazladır. Çimento kalitesi dışında miktarın da önemi büyüktür. Çimento dozajının artması ile çimento hamurunun hacmi artar. Ancak dayanım üzerindeki asıl etkenin su/çimento oranı olduğu unutulmamalıdır. Betonda, çimentonun hidratasyonuna yetecek miktarın üzerinde kullanılacak su miktarı zamanla buharlaşacağı için betonda boşluk oluşturacaktır. Bu nedenle, çimento miktarı tek başına etkili değildir, suya göre göreceli miktarı, yani su/çimento (S/Ç) oranı önemlidir. Öte yandan, çimento miktarının fazlalaşması rötre olayını artırmaktadır. Bu nedenle çimento dozajı belirli bir değeri geçtikten sonra (örneğin 500 kg/m^3) özellikle betonun oluşan rötre çatlakları nedeni ile çekme dayanımı azalmaktadır. Diğer yandan yüksek çimento dozajlarında iri agregatanelerinin birbirleri ile olan teması ve yük aktarımı azalacağından beton dayanımının azalmasına neden olur. Çimento dozajı, agreganın granülometri bileşimi ile yakından ilgilidir. Genel olarak agregatada karışımında ince tane miktarı fazla ise, kaplanması gereken yüzey fazla olacağından çimento dozajı büyük olmalıdır. Çimento miktarının en az değeri, bağlayıcı madde hamurunun, agreganın etrafındaki tüm boşlukları doldurmasına yetecek şekilde seçilmelidir. Buna göre, agregatın büyük boyutu D büyüdükçe, minimum dozaj değeri düşmektedir.

Çimento dozajı için önerilen bir minimum değer vardır. Bu, betonun geçirimsizliği ve donatının paslanmadan korunmasını sağlamak için gereklidir ve agregalar arası boşlukla ilişkilidir. Bilindiği gibi betonda agregalar arasındaki boşluk miktarı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir [3].

$$C_{\min} = \frac{A}{\sqrt[5]{D}} \quad (2.1)$$

Bu bağıntıda A bir katsayıyı gösterir ve genellikle 550 değeri önerilir. En büyük agrega boyutu

D= 31,5 mm için $C_{\min}=276 \text{ kg/m}^3$ ve

D= 16 mm için $C_{\min}=316 \text{ kg/m}^3$

olarak hesaplanır.

Ülkemizde belirli çevre etkilerine bağlı olarak TS EN 206 standardında verşlen minimum dozajlar kullanılmaktadır. Dayanıma etki eden faktörün dozaj olmayıp su/çimento oranı olduğu unutulmamalıdır [11].

2.1.2 Karışımındaki agrega ile ilgili faktörler

S/Ç oranı dayanımı etkileyen en önemli faktör olmasına rağmen, agrega özellikleri özellikle betonun çekme ve kırılma özellikleri açısından ihmal edilemez. En önemli agrega parametreleri, agreganın granülometrisi, en büyük agrega tane boyutu, tane şekli, tanelerin yüzey dokusu, dayanımı, agregada bulunabilecek zararlı maddelerin miktarı gelmektedir. “Agrega” konusunda de sözü edildiğı gibi agreganın yüzey yapısı doğal olarak oluşmuş çakıl olmalarına veya yapay olarak kırılmış kayalardan elde edilmelerine bağlıdır. Doğal çakıl daha düzgün yüzeyli, kırmataş ise pürüzlü ve köşeli bir yapıdadır. Düşük S/Ç oranlarında daha iyi mekanik kenetlenme nedeniyle kırmataş agregalar daha yüksek beton dayanımı sağlarlar, ama bu etki S/Ç oranı arttıkça kaybolur. Ancak, beton karışımları eşit işlenebilirlikte ise bu fark önemsiz

hale gelir. Zira, düzgün yüzeyli agregaların düşük su ihtiyacı, çimento hamurunun S/Ç oranını azaltır ve zayıf aderansın etkisini dengeler. Agreganın granülometrisi doğrudan betonun kompasitesini etkiler. Beton kompasitesi denilince akla gelen taze beton kompasitesidir. Taze beton kompasitesi taşlar için tanımlanan kompasiteden farklıdır. Taze beton kompasitesi 1 m³ betondaki katı öğelerin (agrega ve çimento) kapladığı mutlak hacimlerin toplamıdır [11].

2.1.3 Su / Çimento oranı

Beton üretiminde kullanılan yoğurma suyu bağlayıcı maddenin hidratasyon adı

kimyasal reaksiyonunu başlatır. Kum ve iri agrega tanelerini ıslatarak, betonun işlenebilme yeteneğine sahip olmasını sağlar. Beton dökülürken en uygun miktarda su kullanılmalıdır.

Suyun en uygun değerden az veya fazla kullanılması betonun dayanımını düşürür. Suyun en uygun değerden az kullanılması, işlenebilirliğin azalması nedeniyle boşlukların artmasına neden olacağından sakıncalıdır. Fazlalığı ise betondaki boşluk miktarını arttıracığından zararlıdır. Genellikle Bu da çok sakıncalı bir durum yaratır. Hidratasyon için gerekli su, çimento ağırlığının yaklaşık % 14'ü kadardır. Hidrate çimento taneleri (C-S-H) arasında kalacak adsorplanmış jel suyu da hesaba katılırsa, gerekli su, ancak %20-25 değerine varmaktadır. Ancak işlenebilmeyi sağlayabilmek için betona katılan ek su nedeniyle, S/Ç oranı hidratasyon için gerekenden daha yüksek değerler alır. Uygulamada S/Ç çoğunlukla %50 - %65 arasındadır. Hidratasyon ve jel yapı için gerekli suyun üstündeki fazla su beton sertleştikten sonra buharlaşarak, beton içinde kılcal olan boşlukların oluşmasına neden olur. Bu boşluklar da betonun basınç dayanımını olumsuz yönde etkiler. Akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddelerinin kullanımı halinde, işlenebilirliği azaltmadan S/Ç oranını 0.15 - 0.25 mertebelerine kadar düşürmek mümkündür. Betonun basınç dayanımını etkileyen birçok parametre vardır. Ancak bunların en önemlisi S/Ç oranıdır. Birçok araştırmacı bu konuda değişik formüller önermişlerdir. Bunlardan en yaygın olanı Bolomey bağıntısıdır [3]:

$$f_c = K_B (C/S)^2 \quad (2.2)$$

Burada f_c betonun basınç dayanımını ve K_B Bolomey katsayısını gösterir ve beton yaşına, geometrik şekline ve kür koşullarına bağlıdır.

İyi bir yerleşme, işlenebilme sağlamak için su/çimento oranı artırılmamalıdır. Eğer iyi bir işlenebilme için daha çok su gerekiyorsa, bu durum agregadan kaynaklanıyor olabilir, bu durumda agreganın ve özellikle kumun değiştirilmesi yoluna gidilmelidir. Su/çimento oranı düşük, bu yüzden yerine yerleştirilemeyen betonda oluşacak büyük boşluklar da dayanımı düşürür. Bu düşüş de oldukça yüksektir. Örneğin; gerekenden %20 fazla su konması halinde dayanım %30 düşerse, %20 eksik konması halindeki düşüş %60'ı bulabilir. Su miktarını ayarlamak beton üretiminin en noktasıdır. Teorik yaklaşımlar dışında deneyim de büyük değer taşır. Su miktarının yanında, suyun kalitesi de önemlidir. [11]

2.1.4 Sıkıştırma düzeyi

Betonun dayanımını etkileyen bir diğer önemli özelliği ise sıkıştırılma düzeyidir.

Normal beton (Kendiliğinden yerleşme özelliği olmayan beton) vibratör kullanılarak sıkıştırılmalıdır. İyi sıkıştırılmayan beton içinde hava boşlukları kalacaktır. Betonun, içindeki boşluk miktarı en düşük seviyeye inecek şekilde sıkıştırılması gerekir. Beton içerisinde ki hava miktarı arttıkça betonun dayanımı düşer. Bu boşluklar agrega ile çimento hamuru arasında meydana geldiğinde aderansı azaltır, hamur içinde ise hamur dayanımını düşürür. [11,12]

2.1.5 Betonun deney yaşı

Uygun kür koşullarında betonun basınç dayanımı numune yaşı ile birlikte artar. Basınç dayanımındaki yükseliş hızı erken yaşlarda daha fazladır ve giderek azalır. Beton ulaşabileceği en büyük basınç dayanımının yaklaşık olarak %70'ine ilk 28 günde ulaşır. İleriki günler içerisinde basınç dayanımının artışı giderek azalarak artar. Dayanım kazanma hızını etkileyen bir diğer özellik kullanılan su/çimento oranıdır. Su/çimento oranı yüksek olan betonların dayanım kazanma hızı daha yavaştır [7].

2.2 Deney Yöntemi ile İlişkili Faktörler

2.2.1 Kür koşulları ve nem etkisi

Çimento hidratasyonu çimentoyu oluşturan karma oksitleri ile su arasındaki kimyasal olaydır [7]. Her kimyasal olay gibi yüksek sıcaklık hidratasyon olayını da hızlandırır. Hidratasyon için ayrıca su gerektiği için beton bağıl nemi %80 oranının altına inmemelidir. Bu nedenle, düşük sıcaklık ve düşük nem miktarı, çimentonun hidratasyonunu yavaşlatmaktadır. Diğer taraftan, yüksek sıcaklık ve yüksek orandaki nem, hidratasyon hızını artırmaktadır. Böylece, çimento hamuru veya beton daha hızlı dayanım kazanmaktadır. Standard deney yönteminde, beton numuneler 28 gün süre ile 23 ± 2 °C sıcaklıktaki su havuzunda kür edildikten sonra kırılmaya tabi tutulmaktadır. Hızlandırılmış kür yönteminde ise, hazırlanan beton karışımı yüksek sıcaklık ve nem içeren ortamlarda kür edildikleri takdirde 1–2 gün içerisinde kazanacakları basınç dayanımı, 28 günde kazanacakları basınç dayanımına yakın olmaktadır. Türk ve ASTM standartlarına göre, standart yöntemle deneye tabi tutulacak numuneler, deney tarihine kadar %95 bağıl nem ortamında ıslak kür

edilmektedir. Yapılan testlerde, kuru numunelerden elde edilen basınç dayanımının, suya doygun numunelerden elde edilen basınç dayanımından yüksek olduğu gözlenmiştir. Kuru numunelerden elde edilen basınç dayanımı, suya doygun numunelerden elde edilen basınç dayanımından %10–15 kadar daha fazladır. Bunun sebebi şöyle izah edilebilir;

- Beton numune içerisindeki nem yağlayıcı bir etki yapmaktadır. Böylece, numune içerisindeki kayma daha kolay olmaktadır.
- Islak numuneye uygulanan yük, numunenin içerisindeki gözeneklerde ayrıca bir basınç etkisi oluşturmaktadır. [8]

2.2.2 Yükleme hızı

Betonun basınç dayanımı, yükleme hızındaki değişimlerden etkilenmektedir. Beton örneğe uygulanan gerilmenin uygulama hızı azaldıkça (yük daha uzun bir süreyle uygulandıkça) numune daha küçük bir gerilme altında kırılmaktadır. Diğer bir deyişle, düşük yükleme hızı uygulanan numunelerde elde edilen basınç dayanımı değeri daha az olmaktadır. Yükleme hızının 0,002-0,018 MPa/s olduğu örneklerden elde edilen basınç dayanımı değerleri (yani yüklemenin yaklaşık 24-30 dakika sürdüğü örneklerden elde edilen basınç dayanımı değerleri) , yükleme hızının 0,2 MPa/s olduğu örneklerden elde edilen basınç dayanım değerlerinden yaklaşık %15 daha az olmaktadır. Bu durum yükün örnek üzerinde daha uzun süre kalması nedeniyle bir miktar sünme yapmasından kaynaklanmaktadır. Öte yandan yüksek hızlar uygulanan örneklerde daha büyük basınç dayanım değeri elde edilmektedir. Yükleme hızı 7 MPa/s olarak uygulanan örneklerden elde edilen basınç dayanımı yükleme hızı 0,2 MPa/s olarak uygulanan elde edilen basınç dayanımından %10 daha yüksek olmaktadır [6].

2.2.3 Kür ortamının sıcaklığı

Deney anında beton numunenin sıcaklığının fazla olması, basınç dayanımını düşürmektedir. Örneğin, -4°C sıcaklıktaki numunelerden elde edilen basınç dayanımı değeri, 21°C sıcaklığa sahip olan numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerinden %40 daha fazladır. 55°C sıcaklıktaki numuneden elde edilen basınç dayanımı değeri ise, 21°C sıcaklıktaki numuneden elde edilen basınç dayanımı değerinden %15 daha düşüktür [8]. Bunun nedeni düşük sıcaklıkta kür edilen betonlarda içyapının daha homojen ve dolu olması, yüksek sıcaklıkta ise hidrate

ürünlerin yerleşebilmeleri için zaman bulamamaları nedeniyle daha boşluklu bir yapı oluşmasıdır.

2.3 Basınç Dayanımına Etkiyen Diğer Faktörler

2.3.1 Numune biçimi ve boyutu

Beton uygulamalarına genel olarak bakıldığında daha önce de belirtildiği üzere, numunelerin her ülkenin standardında farklı şekil ve boyutta kabul edildiği görülmektedir. Yakından incelendiğinde, A.B.D ve Avustralya $\phi 150 \times 300$ mm, Japonya $\phi 100 \times 200$ mm silindiri kabul etmekte, Avrupa ülkelerinde ise $\phi 160 \times 320$ mm silindir kullanan Fransa haricinde, Birleşik Krallık 150 mm, Almanya 150 mm, İtalya 200 mm, Norveç 100 mm, İsveç 150 mm'lik küplerle basınç deneylerini gerçekleştirmektedir. Çizelge 2.1'de silindir ve küp numuneler karşılaştırılmıştır.

Dünya beton literatüründeki belli başlı standartlardan BS 1881' in kabul ettiği 150 mm küp ve ASTM'nin kabul ettiği $\phi 150 \times 300$ mm silindir numunelerin, aynı yükleme hızı esas olmak üzere, değişik açılardan ayrıntılı karşılaştırması Çizelge 2.1'de yapılmıştır. Çizelge 2.1'e göre, örneğin ağırlığının daha az olması ve başlık yapılmaması gibi farklılıklar ile küp ön plana çıkarken, silindirin özellikle gerilme dağılımının üniform olması ve daha düşük kapasiteli basınç aletinin yeterli olması gibi konularda belli ölçüde üstünlük sağladığı görülmektedir.

Basınç dayanımını önemli ölçüde etkileyen yükleme başlığı ile numune arasında oluşan sürtünme kuvvetlerinin, narinlik oranı Yükseklik/çap >2 olan silindirlerde pratik olarak ihmal edilebilecek mertebede olması ve yukarıda kısaca belirtilen özellikleri de içermesi silindir numuneyi daha ön plana çıkarmaktadır [5].

2.3.2 Boyut etkisi

Aynı geometrik şekle sahip numunelerde boyut değişmesi durumunda basınç dayanımı değerlerinin önemli ölçüde değişiklik göstermesine boyut etkisi denilmektedir. Bu konuda yapılan deneysel çalışmalar genel şekilde değerlendirildiğinde artan boyutlarda basınç dayanımlarının küçük boyutlu numunelere kıyasla belirgin şekilde düştüğü, belirli bir boyuttan sonra da basınç dayanımlarındaki düşmenin azaldığı gözlenmektedir. Beton literatüründe basınç dayanımının numune boyutuna bağlı olarak değişimi "boyut etkisi" olarak

tanımlanmaktadır. Beton literatüründe, söz konusu şekil ve boyut etkisini birlikte inceleyen araştırmacılardan birisi olan Neville [12] şekil ve boyut etkisini aşağıdaki ampirik bağıntı ile ifade edilmiştir.

Çizelge 2.1 Numunelerin karşılaştırılması. [5]

150 mm Küp Numune İle Ø150x300 mm Silindir Numunenin Bazı Özellikler Açısından Karşılaştırılması		
Özellik	Küp (k)	Silindir (s)
Referans boyut	150 mm	Ø:150 x h:300 mm
Ağırlık	8.01 kg/adet	12.58 kg/adet
Kırma kapasitesi (Pk)	$f_k = 500 \text{ kgf/cm}^2$ (50 MPa) için $P_k = 168,7 \text{ t}$ (1687 kN) olmalı	$f_s = 400 \text{ kgf/cm}^2$ (40 MPa) için $P_k = 106 \text{ t}$ (1060 kN) olmalı
Şantiye şartları açısından silindir numune daha elverişli		
Gerilme birikmesi	Özellikle köşelerde daha fazla	Daha üniform
Yükleme makinası ile numune arasında gelişen sürtünme kuvveti	Kırılma şekli hassas şekilde sürtünme	Narinlik oranı $X = \text{yükseklik} / \text{çap} = 2$ ise sürtünme kuvvetinin basınç dayanımı üzerinde etkisi pratik olarak ihmal edilebilecek düzeydedir.
Başlık	Yapılmasına gerek yok	Başlık malzemesinin seçimi "rijitlik" açısından özellikle 1000 kgf/cm^2 (100MPa) üzerindeki betonlarda önem kazanır.
Sıkıştırma	Köşeli olduğundan özen gerektirir	Δαηα κολαψη
Tabaka sıkıştırma enerjisi (E)	$E_{k,1} = 0.16 \text{ (kgcm/cm}^3\text{/tabaka)}$ $E_{k,2} = 0.32 \text{ (kgcm/cm}^3\text{/tabaka)}$	$E_{s,1} = 0.1 \text{ (kgcm/cm}^3\text{/tabaka)}$ $E_{s,2} = 0.2 \text{ (kgcm/cm}^3\text{/tabaka)}$
	1-»Normal kıvam 2-» Kum kıvam	□
$E_k > E_s$ »Küp silindire göre köşelere dikkat edilmek koşulu ile daha iyi sıkışabilir.		

$$\frac{f}{f_k} = 0.56 + \frac{0.697}{\left(\frac{V}{6ha} + \frac{h}{a}\right)} \quad (2.3)$$

Burada f, a boyutlu kübün basınç dayanımı, h/a silindirin yükseklik/çap oranı (narinlik) ve V ise numune hacmini gösterir.

Popovics [13], silindir numuneler için aşağıdaki ilişkiyi önermiştir.

$$\frac{f_{s,d}}{f_{s,150x300}} \equiv 1.65 \left(\frac{1}{d}\right)^{0.1} \quad (2.4)$$

Verilen bağıntının $50\text{mm} \leq d \leq 600\text{mm}$ aralığı için geçerli olduğu belirtilmiştir. Burada, $f_{s,d} = \phi$ çapı d olan ve λ (narinlik) = yükseklik / Çap = 2 olan silindir basınç dayanımını ve $f_{s,150 \times 300}$ ise 150 mm çaplı ve 300 mm yüksekliğinde silindirin basınç dayanımını ve d , silindir numunenin çapını (mm) göstermektedir. Neville ve Popovics 'in bağıntılarına göre artan numune çapında beton basınç dayanımı azalmaktadır [5].

2.3.3 Agrega boyutu ve granülometrisi

Betonun basınç dayanımı büyük ölçüde agregatane boyut dağılımı ile de ilgilidir. Betonun elastisite modülü agregatay yoğunluğunun bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. Beton kırılma anına kadar yüklendiğinde, agregatay yoğunluğu ve büyüklüğü kırılmaya başlayan yüzeyde sürtünme boyunu yönlendirmektedir. Bu durum bize betondaki kırılma enerjisinin agregatay dağılımına bağlı olduğunu göstermektedir. Agregaların büyüklüklerinde ve dağılımlarında kalıp yüzeylerin etkisi önemlidir. Kalıba yerleştirilecek beton numunelerinde, kullanılacak en büyük agregatay boyutunun, kalıp çapının veya kalıp genişliğinin 1/3'ünden daha büyük olmaması gerekmektedir. Bu değerden büyük olursa, betonda üniformite sağlanamamaktadır. Bu değerden daha büyük agregalar kalıp içerisinde üniform olarak sıkıştırılamaz .

Tanigawa ve Yamada [18] ise araştırmalarında agreganın boyutlarındaki değişimin yalnızca betonun içyapısını etkilemediğini diğer bir yandan betonun dayanımını etkilediğini belirlemişlerdir. Araştırmacılara göre maksimum çapı 3 mm olan agregadan oluşan betonlarda agreganın boyutları basınç dayanımını etkilemediğini ve bunun betondaki heterojenlikle değiştiğini belirlemişlerdir. Burada önemle üzerinde durulması gereken agregaların boyut etkisinin genellikle numune boyutu / maksimum agregatay çapı oranı ile açıklanabileceğini ve agregatay boyutunun büyük olmasına rağmen büyük boyuttaki numunelerin daha düşük basınç dayanımına sahip olabileceğidir. Çünkü geometrik heterojenliğin basınç dayanımına etkisi daha az olmaktadır.

2.3.4 Numune ve basınç tablası arasındaki teğetsel gerilme kuvveti

Eksenel basınç altındaki bir numunenin kırılma nedeni, pres tablası ile numune arasındaki sürtünmeden oluşan yük eksenine dik kesme kuvvetleridir. Pres tablası ile numune yüzeyleri arasında sürtünme nedeni ile oluşan kesme kuvvetlerinin etkisi,

yükün uygulandığı yüzeyden uzaklaştıkça azalmaktadır . Bunun doğal bir sonucu olarak numune yüksekliğinin kesit boyutuna oranı büyüdükçe, sürtünme etkisi kırılmayı daha az etkilemektedir. Bu nedenle yüksekliğinin kesit boyutuna oranı 2 olan silindir, oranın 1 olduğu küpe kıyasla daha güvenilir bir numune olmaktadır. Yapılan deneysel araştırmaların çoğunda pres tablası ile numune yüzeyi arasında oluşturulan bir yağ tabakasının sürtünmeyi azaltarak numunenin kırılma biçiminin değiştiği tespit edilmiştir. Bu durumda kırılma, eksenel basınç deneyinden beklendiği şekilde yük eksenine dik çatlaklar oluşturmaktadır ve dayanımda azalmalara sebep olur. Test makinesinin türü ve yükleme yüzeyinin sertliği test sonuçları da önemli bir etkiye sahiptir olduğu söylenebilir [2,19].

2.3.5 Numune uç yüzeylerinin hazırlanma şeklinin etkisi

Bütün beton numunelerinde beton dökme yüzeyine başlık yapılarak test edilmesi önerilir . Ancak yapılacak başlıkta yüksek dayanımlı malzemenin kullanımına dikkat edilir; aksi takdirde malzemenin mukavemeti yetersiz kalabilir. Özellikle sülfür harcı beton basınç numunelerine başlık yapılmasında en çok kullanılan malzemedir. Yapılan basınç testlerinde , aynı betondan alınan farklı numuneler için başlık yapılan numunelerin başlık yapılmadan elde edilen numunelerden daha küçük basınç dayanımı verdiği sunucuna varılmıştır.

2.3.6 Cidar etkisi

Basınç dayanımına etki eden bir diğer faktör betonun kalıp yüzeyi civarında farklı bir bileşime sahip olması dolayısı ile ortaya çıkar ve betonun dayanımı bu bölgede iç kısımdan daha farklıdır. Kalıp yüzeyinde oluşan bu katmanın kalınlığı ortalama bir agrega boyutu kadardır ve bu olaya cidar etkisi denir. Boyutları küçük numunelerde, bu katmanın etkisi büyük bir numunelere oranla daha büyük olmaktadır. Çünkü bu katmanın kalınlığı numunenin boyutundan bağımsızdır ve çok ince bir enine kesit için önemsenmeyebilir [9].Beton üretiminde kullanılan agregaların granülometrisinde sınırlamanın nedeni cidar etkisidir ve bu etki betonun şekillendirilmesinde önemlidir [20].

Yapılan araştırmalarda en büyük boyuttaki numuneler için geçerli olan; gerilmeye maruz en büyük hacimli betonların daha düşük bir basınç dayanımına sahip olması söz konusudur. Dayanım azalması boyutun artması ile gerçekleşir. Boyutun artmasıyla beraber beton içersindeki kusurlarda artar. Diğer yandan, aynı betondan

alınan en küçük numunenin en yüksek dayanım değerine sahip olması beklenirken bunun tersi bir durumla da karşılaşılabilir. Küçük numunelerdeki bu zıtlığın sebebi cidar etkisi ile açıklanmaktadır. Kalıba değen yüzey ile agrega arasındaki boşluğu doldurmak için gerekli çimento hamuru numunenin merkezindeki çimento hamurundan daha fazladır. Numunenin işlenebilirliğindeki bu etki, yüzey alanı / hacim oranı büyük olan numunelerde daha önemlidir. Tokyay ve Özdemir tarafından yapılan deneylerde; küçük numunelerde düşük beton dayanımına cidar etkisinin neden olduğu ayrıca yüksek yüzey alanı / hacim oranına sahip olması ve numunenin boyutlarından dolayı sıkıştırmanın tam sağlanamamasıdır. Bu etki küp numuneler için daha önemlidir [21,22].

2.3.7 Doğal taşların basınç dayanımında numune boyut ve şekil ilişkisi

Doğal taşlarda beton malzemesi gibi heterojen yapıdadır. Doğal taşların heterojenliği, kaya içerisindeki farklı mineral bileşenlerinin artması, azalması ve minerallerin boyutlarının değişmesi ile açıklanabilir. Fakat doğal taşların heterojen yapısı betonun yapısı ile kıyaslanamayacak kadar daha düzenlidir. Bunun en önemli nedeni doğal taşların oluşumunda cidar etkisine maruz kalmamasıdır. Aynı kaya üzerinden alınan farklı numunelerde bir birine yakın sonuçlar elde etmek çok olasıdır. Fakat aynı kaya türü için farklı kayalardan alınan numunelerinde doğal taşların heterojen yapısından dolayı benzer sonuçları elde etmek bir o kadar zor olmaktadır. SDÜ' nin TÜRKİYE III. MERMER SEMPOZYUMU(3-5 MAYIS 2001 /AFYON) için bu konuda bazı deneysel çalışmalar yapmıştır [21]. Aynı kayalar üzerinde farklı boyutlarda küp numuneler alınarak bu numunelerin basınç dayanımları belirlenmiştir. Farklılığın daha görünür olması açısından traverten ve mermerlerden alınan 100x100x100, 75x75x75, 50x50x50, 25x25x25mm boyutlarındaki numuneler üzerinde basınç dayanımı yapılmıştır. Numuneler sulu kesim yapan tezgâhlarda kesilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki çizelgedeki sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre doğal taşlarda numune boyutları küçüldükçe basınç dayanımının arttığı görülmektedir. Daha önce beton üzerinde yapılan deneylerde küçük numuneler üzerinde cidar etkisi ile açıklanan özel durum doğal taşlarda kendini göstermemektedir. Bu çalışma kapsamında betondaki cidar etkisini ortadan kaldırmak için kalıp değen yüzeyler kesilecektir. Özellikle küçük numunelerde kesim sırasında oluşabilecek hasarların önüne geçmek için su jeti ile kesim yapılacaktır[21].

2.3.8 Yükleme bloğu ve dış merkezlik (eksantrisite)

Basınç dayanımına etkisi olan diğer bir faktör de yükleme tablasının oturduğu

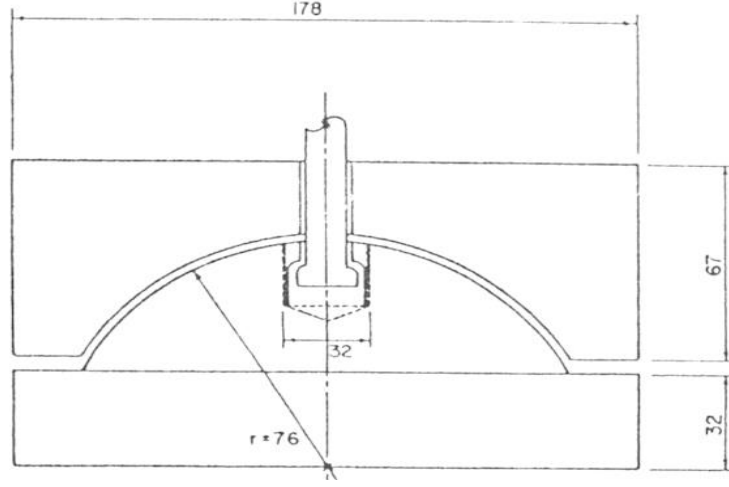
Çizelge 2.2 : Mermer ve travertenin numune boyutuna bağlı basınç dayanımı değerleri. [21]

Mermer				
Numune boyutu (D)mm	Numune sayısı	Basınç dayanımı (MPa)	Standart sapma (SD), Mpa	Değişim katsayısı (DK), %
100x100x100	12	46,89	5,1	10,89
75 x 75 x 75	14	56,24	8,69	15,46
50 x 50 x 50	12	72,52	14,5	19,99
25 x 25 x 25	9	82,4	5,62	6,82
Traverten				
Numune boyutu (D)mm	Numune sayısı	Basınç dayanımı (MPa)	Standart sapma (SD), Mpa	Değişim katsayısı (DK), %
100x100x100	18	63,08	10,99	17,42
75 x 75 x 75	20	76,72	9,28	12,09
50 x 50 x 50	19	91,73	14,16	15,44
25 x 25 x 25	17	108,6	17,95	16,96

küresel bloğun çapı ve numunenin yükleme eksenine olan dış merkezliğidir. Özellikle küresel yükleme bloğunun çapı basınç deney testlerinde çok önemlidir. Bu konu ile ilgili Lessard, Chaallal ve Aitcin [10] tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara göre numunenin boyutlarının değişimine göre yükleme bloğunun oturduğu küresel bloğun boyutunun da buna uygun olması gerekir. ASTM C39-83b'ye göre basınç deneylerinde konik kırılmaların oluşması çok normaldir. Çünkü numunelerin başlık bölgelerinde test makinesi kalıbı ile beton yüzeyleri arasında gecikmiş gerilmeler bulunmaktadır.

Lessard, Chaallal ve Aitcin [10] tarafından yapılan çalışmaların göstermiş olduğu bir diğer etki yükleme bloğu farklılığından doğan yükleme eksenine olan dış merkezlik etkisidir. Dış merkezlik normal dayanımlı betonda 4 mm'ye kadar olması durumunda tam olarak merkezlenmiş bir numuneye oranla dayanım yönünden çok önemli bir fark yaratmadığı belirtilmektedir. Ancak dış merkezlik arttıkça önemli farklar ortaya çıkmaktadır. Dış merkezlik etkisi beton sınıfına göre de farklılık göstermektedir. Normal dayanımlı betonlarda 4 mm e kadar dış merkezlik etkisi gözlenmezken

yüksek dayanımlı betonlarda bu değer 6 mm olabilmektedir [10].



Şekil 2.1: 152 mm çaplı yükleme bloğu düzeneği [10]

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında 2 farklı betondan 5 farklı boyutta numune elde edebilmesi hedeflenmiştir. Bu numunelerin yarısı kalıp değen yüzeyli numunelerden oluşurken bir diğer yarısı kalıp değen yüzeyleri kesilmek suretiyle elde edilmiştir. Betonlar beton santralinde üretilmiştir ve her seri için 1 m³ beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Maksimum agrega çapları 12 ve 22mm olarak kullanılmıştır. Üretimlerde yüksek dayanımlı beton sınıfı için bağlayıcı madde olan çimentonun yanında ilave olarak silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanı miktarı çimento dozajının %5'i olarak seçilmiştir. Hazırlanan betonlarda akışkanlığı sağlamak için hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi de kullanılmıştır. Numuneler beton dökümünün yapılmasından 30 gün sonra istenilen boyutlarda kesilmiş ve daha sonra başlıklama yapılmıştır.

3.1 Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

3.1.1 Çimento

Üretimlerde Nuh Çimento Fabrikası'na ait PÇ 42,5 tipinde çimento kullanılmıştır. Çimentonun basınç dayanımı ve fiziksel özellikleri ile kimyasal özellikleri üretici firmadan elde edilmiştir. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri ile basınç dayanımları sırasıyla Çizelge 3.1 de verilmiştir.

3.1.2 Silis dumanı

Deneylerde yüksek dayanımlı betonun üretimi esnasında çimentoya ek olarak silis dumanı da kullanılmıştır. Silis dumanı çimento dozajının % 5'i olarak seçilmiştir. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği AR-GE Enstitüsünün incelemeleri sonucu belirlenen silis dumanına ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.3 de verilmiştir. Atık bir malzeme olmasına rağmen silis dumanı yüksek puzolanik özelliğe sahip olması nedeniyle hem bir yan ürün konumuna girmiş hem de diğer puzolanik malzemelerin içinde en kıymetlisi durumuna geçmiştir. Silis dumanının beton içindeki davranışı fizikokimyasaldır. Bu davranışın fiziksel kısmı çimento hamuru matrisindeki, özellikle de agrega-çimento arayüzeyindeki, boşluk sisteminin boyutunun küçültülmesidir. Kimyasal kısım ise zayıf kalsiyum-hidroksit (kireç)

kristallerini kalsiyum-silikathidrateye dönüştüren puzolanik reaksiyondan oluşmaktadır.

Çizelge 3.1: Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Çimento			
Fiziksel özellikler	Özgül Ağırlık	(g/cm ³)	3,13
	İncelik	45µ'dan geçen (%)	-
		Blaine (m ² /kg)	328
	Basınç Dayanımı, MPa	2gün	27
		7-gün	43,4
		28-gün	59
	Priz süresi (saat:dak)	Başlama	02:40
		Bitme	04:00
	Serbest kalsiyum oksit (CaO) (%)		63,24
	Magnezyum oksit (MgO) (%)		1,12
Kimyasal özellikler	Sülfür trioksit (SO ₃) (%)		2,82
	Klor (Cl) (%)		0,03
	Potasyum oksit (K ₂ O) (%)		0,78
	C ₃ A (%)		8,36
	Çözünmeyen kalıntı (%)		0,64
	Kızdırma kaybı (%)		2,75

3.1.3 Agregalar

Deneylerde iri agrega olarak kırmataş 1 ve kırmataş 2, ince agrega olarak doğal kum ve kırma taş tozu kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri ve elek analizleri aşağıda Çizelge 3.2 de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 : Agregaların elek analizi sonuçları ve fiziksel özellikleri.

Elek Açıklığı (mm)	Doğal Kum	Kırma Kum	K.T.1	K.T.2
22	100	100	100	100
16	100	100	100	58
8	100	100	50	16
4	100	93	3	0
2	84	68	0	0
1	51	37	0	0
0.5	22	18	0	0
0.25	3	4	0	0
Su emme (%)	0,84	1,4	0,62	0,4
Özgül Ağırlık(gr/cm ³)	2,64	2,65	2,72	2,73

Çizelge 3.3 : Silis dumanı özellikleri.

Özellik/ Property (%)	Mikro Silika Numunesi/ Micro silica sample	AST C-1240 Limit Derğerleri /Limit values
Yoğunluk Density (Mg/m ³)	2,35	
Yığın Yoğunluk/Bulk Density (kg/m ³)	405	
Özellik/ Property (%)	Mikro Silika Numunesi/ Micro silica sample	Deney Metodu/ Test Method
Kız. Kaybı/ Loss on Ignition	1,4	TS EN 196-2/ EN 196-2
SiO ₂	91,8	ICP-OES
Al ₂ O ₃	0,35	ICP-OES
Fe ₂ O ₃	3,91	ICP-OES
CaO	0,48	ICP-OES
MgO	0,62	ICP-OES
SO ₃	0,16	TS EN 196-2/ EN 196-2
Na ₂ O	0,38	ICP-OES
K ₂ O	0,68	ICP-OES
TiO ₂	<0,01	ICP-OES
Cl	0,0586	TS EN 196-2/ EN 196-2
Serbest SiO ₂ / Free SiO ₂	1,93	ASTMC 25

3.1.4 Kimyasal katkıları

Beton üretimleri esnasında mevcut su ihtiyacını azaltmak için karboksilat esaslı hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Bu katkı klor içermemektedir.

3.2 Beton Karışımları

Bu çalışma kapsamında 1 yüksek dayanımlı ve 1 normal dayanımlı beton karışımı üretilmiştir. Beton üretimi bir hazır beton santralinde gerçekleştirilmiştir. Yüksek dayanımlı betonda en büyük agrega çapı 12 mm ve normal dayanımlı betonda 22 mm olarak seçilmiştir. Yüksek dayanımlı ve normal dayanımlı betonların agrega karışım eğrileri, TS 706 standardında verilen referans eğrileri ile birlikte Şekil 3.1 ve 3.2 de gösterilmiştir. Aynı amaçla Fuller parabolü de kullanılabilir. Fuller parabolü (3.1) bağıntısı ile bulunur.

$$p=100*(d/D)^{1/2} \quad (3.1)$$

Her iki agrega karışımında da düşük elekler için B eğrisinin altında, 2 mm civarında B eğrisinin üzerinde yer almaktadır. Yüksek dayanımlı betonda agrega karışım oranları;

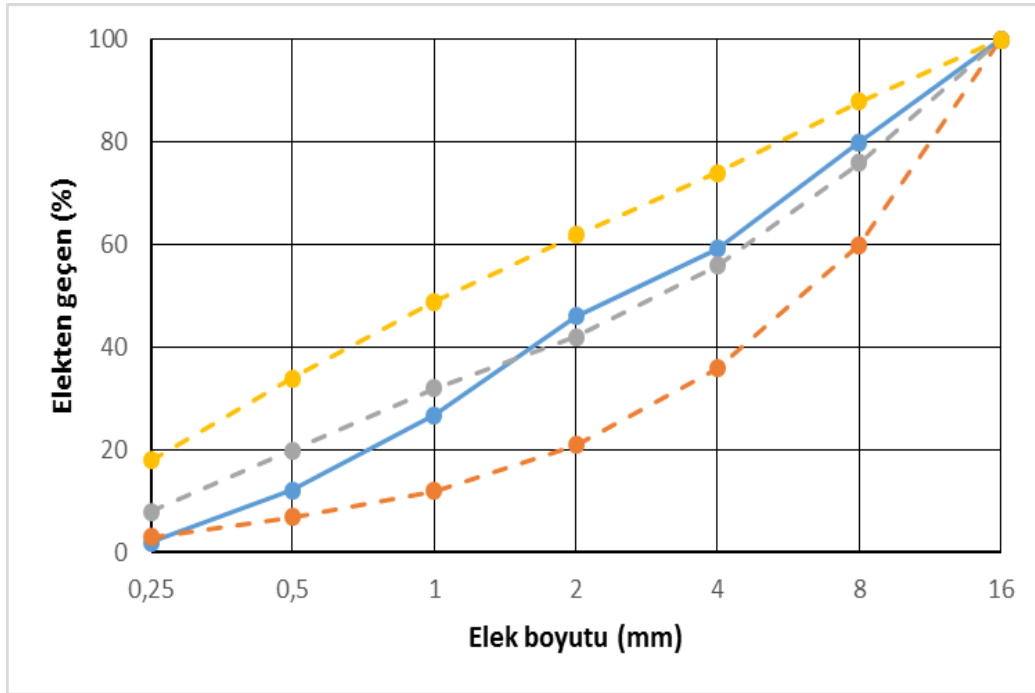
K.Taş I: %40, Kırma kum: %27 ve Kum: %33

şeklinde belirlenmiştir.

Yüksek dayanımlı betonu elde edebilmek için mineral katkı olarak silis dumanı çimento dozajının % 5'i kadar ilave edilmiştir. Beton karışımı Çizelge 3.4 te gösterilmiştir.

Normal dayanımlı betonda ise agrega karışım oranları;

K.Taş II: %30, K. Taş I: %20, Kırma kum: %30 ve Kum: %20 şeklindedir. Beton karışımı Çizelge 3.4 de gösterilmiştir.

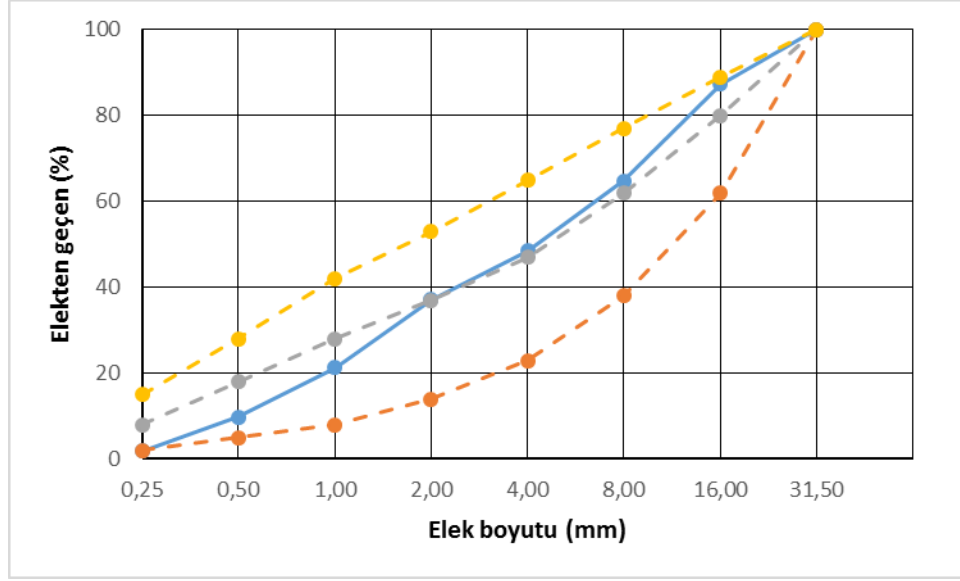


Şekil 3.1: D_{maks} :12mm olan agrega karışımı ve referans eğrileri

3.3 Numunelerin üretimi ve hazırlanması

Beton numuneleri özel bir beton santralinde üretilen betonlar kullanılarak hazırlanmıştır. Numuneler üretimden sonra üzerleri ıslak çuvallarla örtülmüş ve 7 gün sonra kalıptan çıkartılmıştır. Çuvalla örtülme işlemi kalıptan çıkartıldıktan

sonrada devam etmiştir. Çuvallar sürekli ıslatılarak nemli tutulmuştur. 30 gün sonrasında numuneler istenilen ölçülerde kesilmiştir.



Şekil 3.2: D_{maks}: 22mm olan agreg a karışım ve referans eğrileri

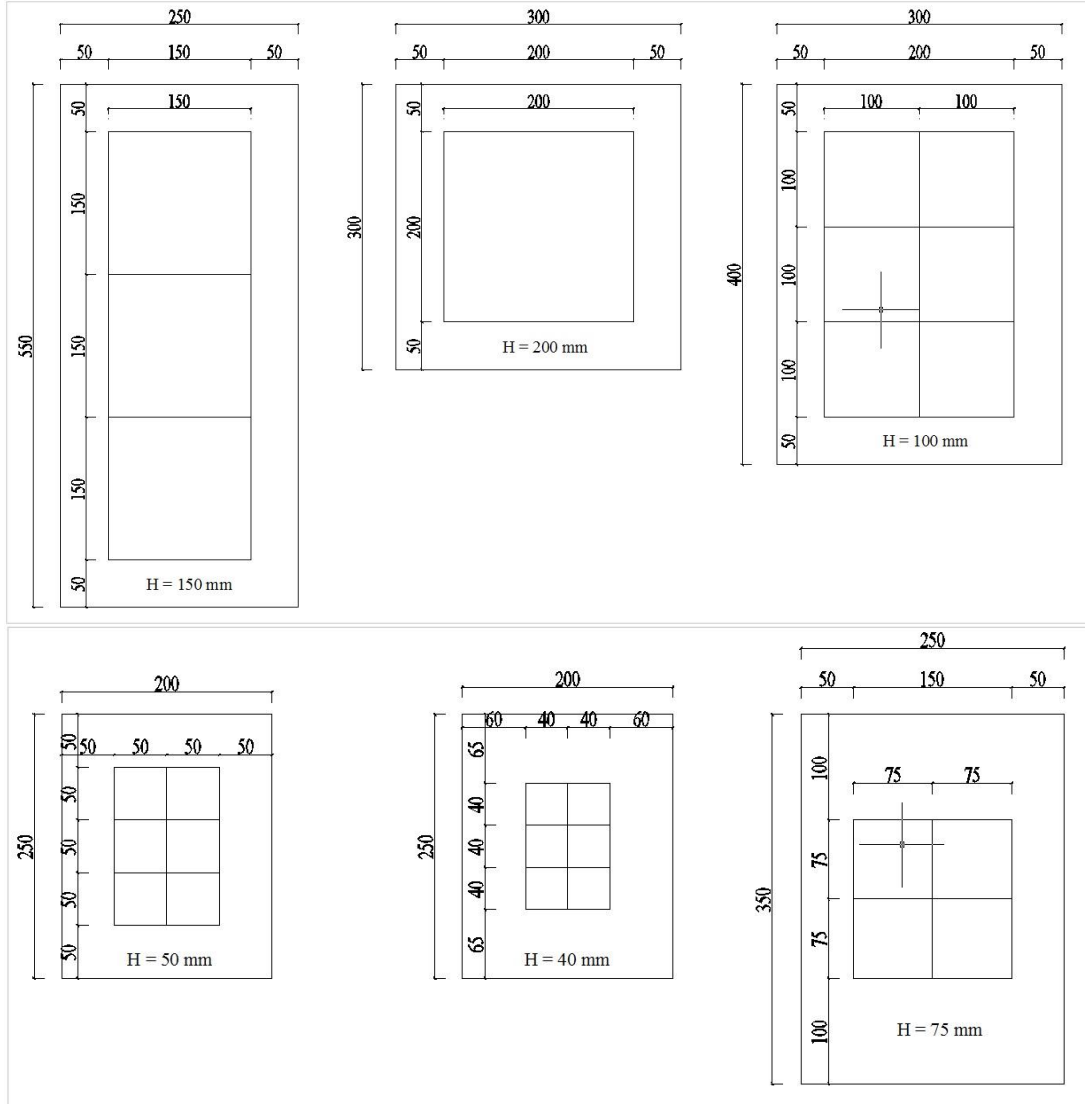
3.4 Numune Boyutları ve Şekilleri

Bu çalışmada betonun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin alınan küp numunelerin üzerinde karşılaştırmak için 40. günde yapılacak deneylerde her grup için 4 adet olmak üzere ,

Çizelge 3.4: Beton karışım bileşimleri (kg / m³) ve taze beton özellikleri

Bileşen (kg)	Beton 1 (C50)	Beton 2 (C20)
Çimento	450	250
Su	150	180
Kimyasal Katkı	6,65	2,2
Silis Dumanı	22,5	-
Doğal Kum	569	368
Kırma Kum	488	578
Kırmataş 1	731	391
Kırmataş 2	-	589
Su / Çimento	0,33	0,72
Su / Bağlayıcı	0,32	0,72
Çökme (cm)	22	16

150x250x550mm, 50x200x250mm, 200x300x300mm, 40x250x200mm, 100x300x400mm, 75x350x250mm boyutlarında prizmatik beton bloklar üretilmiştir. (Şekil 3.3). Ancak 40 mm'lik numuneler kalıplama sırasında sorun yaşandığı ve kesilirken hasara uğradığı için deney programından çıkarılmıştır. Beton blokların kesiminde mermer kesme aleti kullanılmıştır (Şekil 3.4). Diğer taraftan 50 mm'lik küplerin kesilmesinde, daha hassas bir alet olan, su jeti kesme aleti kullanılmıştır (Şekil 3.5). Kalınlığı daha fazla olan numunelerde su jeti ile kesmek mümkün olmamıştır. Bunlara ilave olarak kalıp değen yüzeyi olan numunelerin basınç dayanımını belirlemek için iki beton karışımına ait toplamda 4 adet olmak üzere 200x200x200 mm, 150x150x150 mm, 100x100x100 mm, 75x75x75 mm, 50x50x50 mm standart küp numune üretilmiştir. Şekil 3.6 da numunelerin boyut ve şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Numune boyutları ve kesim şekilleri



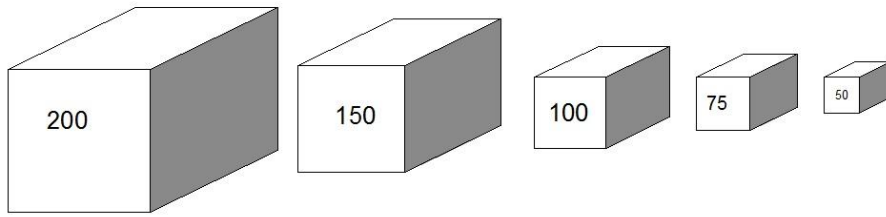
Şekil 3.4: Mermer kesme aleti



Şekil 3.5. Su jeti ile kesme aleti

3.5 Numune Kodlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada üretilen 2 farklı betonun farklı ebatlardaki numunelerin belirlenen kodlamasında numunelerin beton sınıflarından ve kalıplama yönteminden yararlanılmıştır. Kalıp değen yüzeyi kesilenler ve kesilmeden deneye tabi tutulan numuneler kesilme yöntemleride dikkate alınarak önlerine beton sınıfları yazılarak deney sonuçlarının açıldığı 4.1, 4.2 ve 4.3 numaralı çizelgelerde gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Numune şekilleri ve boyutları

3.6 Başlıklama İşlemi

Numunenin alt ve üst yüzeyleri 0,50 mm'den fazla girintili-çıkıntılı ise numunelere uygun malzemeden başlık yapılmalıdır. Yapılacak başlıkta kullanılan malzemenin mukavemeti numunelerinkine benzer olmalıdır. Yaptığımız deneylerde yapılan başlıklar toplamda 6 mm geçmeyecek şekilde özel bir çimento türü olan İSDAÇ 40 ile yapılmıştır. Kalsiyum alüminat çimentosu olan bu ürün hem çok çabuk priz yapmakta hem de kısa sürede yüksek dayanım değerlerine erişebilmektedir.

3.7 Yapılan Deneyler

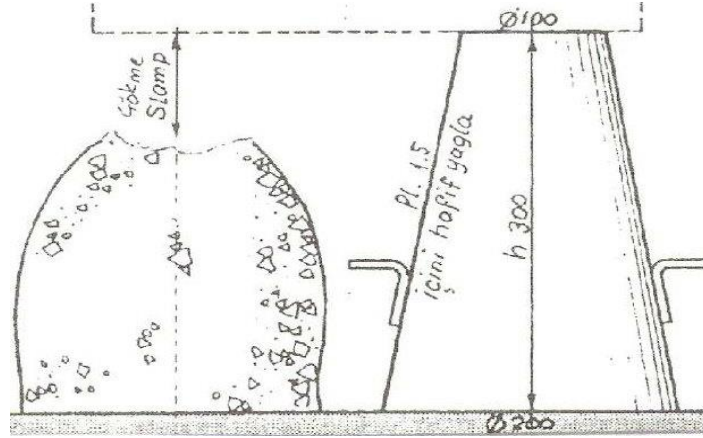
3.7.1 Taze beton deneyleri

Taze beton deneyleri olarak çökme deneyi yapılmıştır.

3.7.1.1 Çökme deneyi

Çökme deneyi kesik koni şeklinde bir kaba yerleştirilen taze betonun kap çekildikten sonraki çökme miktarını cm ya da mm olarak ölçülmesi esasına dayanır. Bu deney yöntemi ülkemizde çok yaygın olarak kullanılır. Deneyde kullanılan aletler Şekil 3.7 de gösterilmiştir. Kesik koni şeklindeki çökme hunisi deneyden önce temizlenir ve içerisine beton 3 katman halinde dökülür. Her katman döküldüğünde beton 25 defa

şışlenmelidir. Katmanlar yerleştirilmesi esnasında şiş alttaki katmana 2,5 cm civarında girmelidir. Betonun dökülmesi tamamlandıktan sonra huni yavaşça ve dik bir şekilde çekilir, çöken betonun yanına konur. Huninin üzerine yatay olarak konan şişleme çubuğunun alt yüzeyi ile çöken betonun üst yüzeyi arasındaki mesafe taze betonun çökme değeri olarak not edilir. Tüm deney, toplamda 2 dakika içerisinde bitirilmelidir.



Şekil 3.7: Çökme hunisi

3.7.2 Sertleşmiş beton deneyleri

3.7.2.1 Basınç deneyi

Beton basınç dayanımı normal olarak 15 cm veya 20 cm boyutlarındaki standart küp numuneler veya çapı 15 cm boyu 30 cm olan standart silindir numuneler kullanılarak belirlenir. Bu çalışmada is numune boyutları 50 ile 200 mm arasında değişmiştir. Basınç deneyi bütün numunelerde 40. günde yapılmıştır. Deneyler 40 mm, 50 mm, 75 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm boyutlu küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Numuneler 300 tonluk ve 500 tonluk basınç makinelerin altında deneye tabi tutulmuşlardır.

Basınç makinelerinde bütün numunelere farklı yükleme hızında olacak şekilde yükleme yapıp okunan değer P (KN), basınç kuvvetinin uygulandığı alan A (mm²) olmak suretiyle basınç dayanım değerleri σ_b (MPa) olarak (3.2) bağıntısından hesaplanır.

$$\sigma_b = P / A \quad (\text{MPa}) \quad (3.1)$$

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

Farklı basınç makinelerinde farklı yükleme hızları ile yapılan deneylere ait sonuçlar iki ayrı basınç makinesi için iki farklı çizelgede bütün ayrıntıları ile özetlenmiştir.

Çizelge 4.1 : 300 Tonluk makinede yapılan deney sonuçları.

C20					C50			
Numune Boyutları	(Kalıp Değen Yüzey)		(Kalıp Değen Yüzeyi Kesilmiş)		(Kalıp Değen Yüzey)		(Kalıp Değen Yüzeyi Kesilmiş)	
	Yükleme Hızı : 1.2 MPa/s		Yükleme Hızı : MPa/s		Yükleme Hızı : 1.2 MPa/s		Yükleme Hızı : 1.2 MPa/s	
	Kırılma Yüğü	Basınç dayanımı	Kırılma Yüğü	Basınç dayanımı	Kırılma Yüğü	Basınç dayanımı	Kırılma Yüğü	Basınç dayanımı
50x50x50	62,8	25,12	51,8	20,72	125	50,04	158	51,8
	76,7	30,68	67	26,8	104	41,6	170	67
	67,5	27	37	14,8	139	55,6	145	37
	77	30,8	59	23,6	117	46,8	148	59
Ortalama		28,40 MPa		21,48 MPa	Ortalama	48,50MPa		62,10MPa
	Yükleme Hızı : 0,71 MPa/s		Yükleme Hızı : 0,71 MPa/s		Yükleme Hızı : 0,71 MPa/s		Yükleme Hızı : 0,71 MPa/s	
75x75x75	205	36,44	155	27,56	369	65,6	395	70,22
	192	34,13	145	25,78	370	65,78	403	71,64
	198	35,2	165	29,33	388	68,98	392	69,69
	181	32,18	156	27,73	372	66,13	386	68,62
Ortalama		34,49 MPa		27,60 MPa	Ortalama	66,62MPa		70,04MPa
	Yükleme Hızı : 0,8 MPa/s		Yükleme Hızı : 0,8 MPa/s		Yükleme Hızı : 0,8 MPa/s		Yükleme Hızı : 0,8 MPa/s	
100x100x100	336	33,6	260	26	620	62	693	69,3
	331	33,1	254	25,4	660	66	687	68,7
	343	34,3	263	26,3	685	68,5	719	71,9
	337	33,7	262	26,2	653	65,3	692	69,2
Ortalama		33,68 MPa		25,98 MPa	Ortalama	64,45MPa		69,78MPa
	Yükleme Hızı : 0,5 MPa/s		Yükleme Hızı : 0,5 MPa/s		Yükleme Hızı : 0,5 MPa/s		Yükleme Hızı : 0,5 MPa/s	
150x150x150	622	27,64	550	24,44	1466	65,16	1465	65,11
	596	26,49	599	26,62	1500	66,67	1453	64,58
	635	28,22	586	26,04	1273	56,58	1540	68,44
	613	27,24			1368	60,8		
Ortalama		27,40MPa		25,70 MPa	Ortalama	62,30MPa		66,04MPa

Çizelge 4.2 : 500 Tonluk makinede yapılan deney sonuçları.

C20		(Kalıp Değen Yüzey Kesilmiş)			(Kalıp Değen Yüzeyi Su Jeti İle Kesilmiş)		
Numune No		Yüklem Hızı :0,23 MPa/s			Yüklem Hızı :0,23 MPa/s		
		Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı	Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı
50x50x50	1	24,05	40157,29	16,7	24	53460,6	22,28
	2	24,2	44866,49	18,54	23,91	69406,39	29,03
	3	24,1	43299,02	17,97	24,01	52268,57	21,77
Ortalama		17,73MPa			24,36 MPa		
		(Kalıp Değen Yüzey)			(Kalıp Değen Yüzeyi Kesilmiş)		
Numune No		Yüklem Hızı :0,23 MPa/s			Yüklem Hızı :0,23 MPa/s		
		Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı	Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı
75x75x75	1	54,75 cm2	186959,57	34,15	55,95 cm2	161915,33	28,94
	2	54,75 cm2	205637,32	37,56	55,94 cm2	150987,08	26,99
	3	54,46 cm2	182119,02	33,44	55,87 cm2	164656,73	29,47
Ortalama		35,05 MPa			21,35 MPa		
Numune No		Yüklem Hızı :0,23 MPa/s			Yüklem Hızı :0,23 MPa/s		
		Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı	Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı
200x200x200	1	410,86 cm2	1288157	31,35	415,10 cm2	1175679,5	28,32
	2	407,83 cm2	1169949,4	28,69	395,80 cm2	1155862,3	29,2
	3	412,27 cm2	1180395,1	28,63	403,40 cm2	1293752,6	32,07
	4	407,17 cm2	1256250,9	30,85			
Ortalama		29,88 MPa			29,87 MPa		

4.1 Deney Sonuçlarına Ait Çizelgelerin Grafiklerle Açıklanması

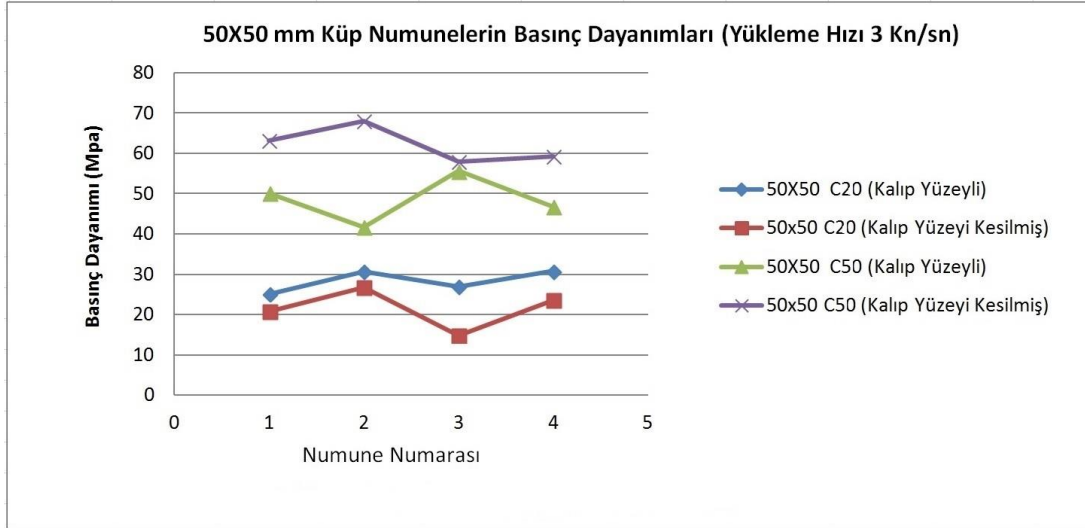
Çizelge 3.7, 3.8 ve 3.9 da numunelere ait beton basınç dayanım sonuçları, 7 ayrı grafikte özetlenmiştir. Grafikler, numunelerin boyutlarına göre ayrı ayrı değerlendirilmek üzere hazırlanmıştır. Aynı boyutlarda fakat farklı özelliklerdeki numuneler aynı grafiklerde değerlendirmeye alınmıştır. Bu çalışma kapsamında değerlendirilmeye çalışılan en önemli sonuç beton numunelerdeki cidar etkisi olmuştur. Fakat cidar etkisinin yanında numunelerin cidar etkisini ortadan kaldırmak üzere yapılan kesme çalışmalarındaki farklılıkların da basınç dayanımına olan etkisi açıklanmıştır. Bu çalışma kapsamında sulu kesim yapan mermer kesme makinelerinde beton kesme taşı kullanılarak kesim yapılmıştır. Bu yöntemle ilave olarak su jeti olarak isimlendirilen yeni nesil bir kesme tekniğine olanak sunan makine ile de sadece 50 mm'lik numuneler için kesim yapılmıştır.

Çizelge 4.3 : 500 Tonluk makinede yapılan deney sonuçları.

C50		(Kalıp Değen Yüzeyi Kesilmiş)			(Kalıp Değen Yüzeyi Su Jeti İle Kesilmiş)		
Numune No		Yüklem Hızı :0,23 MPa/s			Yüklem Hızı :0,23 MPa/s		
		Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı	Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı
50x50x50	1	25,2	84469,19	33,52	25,20 cm2	134703,27	55,89
	2	24,69	129257,05	52,35	24,69 cm2	132317,77	55,22
	3	25	109180,59	43,67	25,00 cm2	123580,59	51,28
Ortalama		43,18 MPa			54,13 MPa		
Numune No		(Kalıp Değen Yüzey)			(Kalıp Değen Yüzeyi Kesilmiş)		
		Yüklem Hızı :0,23 MPa/s			Yüklem Hızı :0,23 MPa/s		
		Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı	Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı
75x75x75	1	54,98	402840,19	73,27	54,98	402840,19	70,37
	2	54,08	385834,17	71,35	54,08	385834,17	76,07
	3	54,75	370054,88	67,59	54,75	370054,88	63,85
	4	55,27	336794,27	60,94	55,27	336794,27	74,96
Ortalama		68,29 MPa			71,31 MPa		
Numune No		Yüklem Hızı :0,23 MPa/s			Yüklem Hızı :0,23 MPa/s		
		Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı	Kesit Alanı(cm2)	Kırılma Yüğü (N)	Basınç dayanımı
200x200x200	1	403,8	2580457	63,9	399,97	2614200	65,36
	2	409,05	2493739	60,96	405,01	2707968	66,86
	3	400,79	2582284	64,43	397,36	2774234	69,82
	4	404,2	2579375	63,81	410,46	2682743	65,36
Ortalama		63,28 MPa			66,85 MPa		

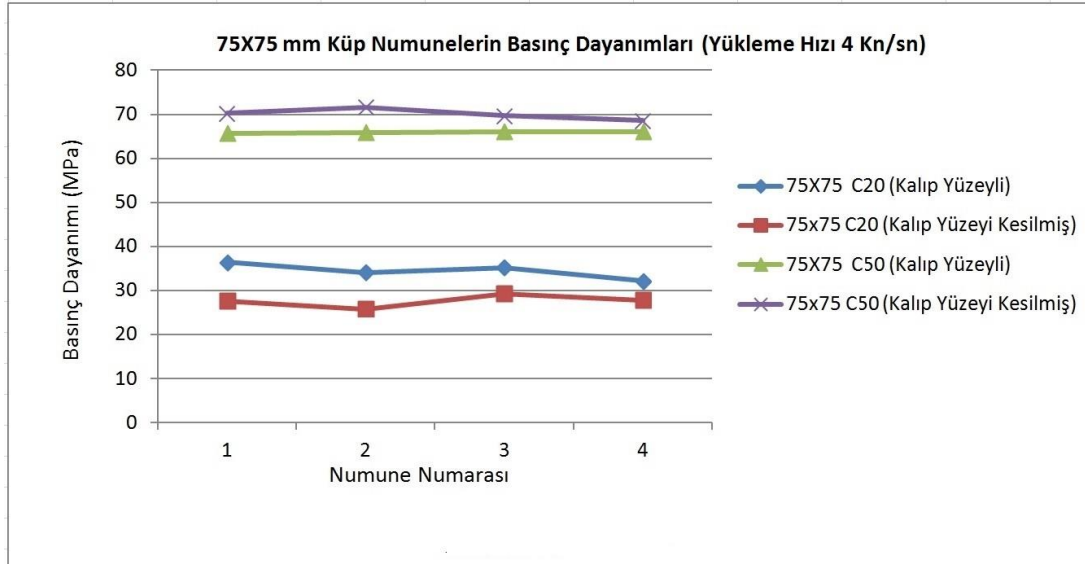
4.1.2 300 Tonluk basınç makinesinde yapılan basınç deneylerinin sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.1’de C20 betonunda cidar etkisinin kesilerek ortadan kaldırıldığı numunelerin basınç dayanım sonuçlarının ortalaması, cidar etkisinin ortadan kaldırılmadığı numunelerinin (kalıp yüzeyli) ortalamasından daha düşüktür. C50 betonunda ise bu durumun tam tersi söz konusudur. C50 betonunda cidar etkisinin ortadan kaldırıldığı numunelerin basınç dayanım sonuçları kalıp yüzeyli olanlardan daha yüksektir. Bunun nedeni C20 betonunun kesilirken hasara uğraması olarak açıklanabilir. Bu betonda dayanım göreceli olarak düşük olduğu için çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderans da düşük olmakta ve kesim sırasında agrega taneleri



Şekil 4.1: 300 Tonluk basınç makinesinde 50x50x50 mm basınç deneyi sonuçları

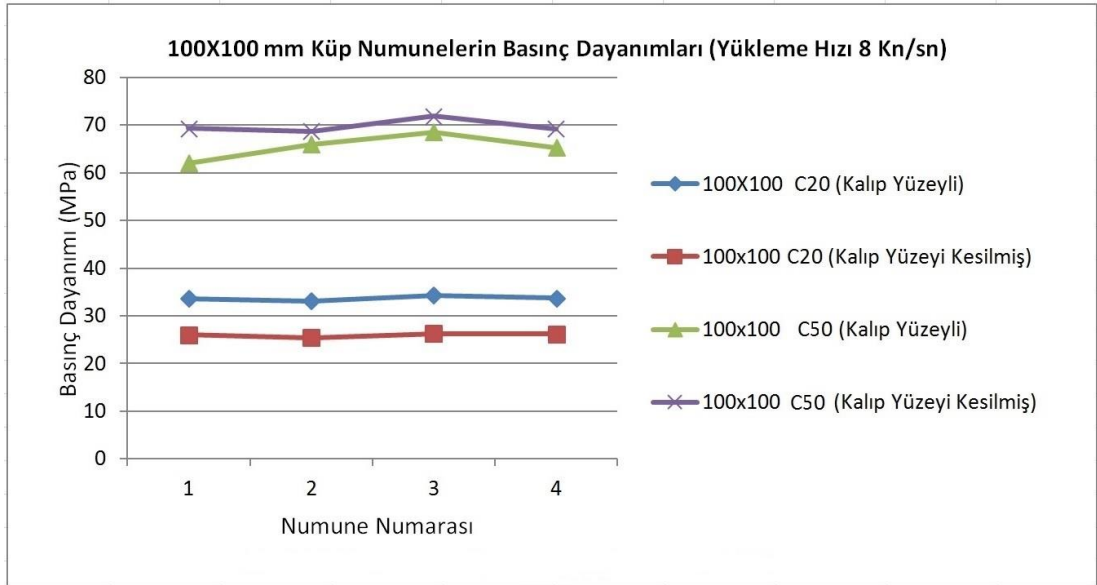
yerlerinden oynayabilmektedir. Diğer yandan C20 betonun sahip olduğu agregaların boyutları (Maks. $D=22$ mm) C50 betonundan (Maks. $D=12$ mm) daha büyük ebatlarda olması da C20 betonunun kesilirken daha fazla hasara uğramasına neden olduğu düşünülebilir. C50 betonunda kullanılan agregaların küçük boyutlarda olması beton içerisindeki sürekliliği arttırdığı gibi, C50 betonun basınç dayanımının yüksek olması kesilirken C20 betonu kadar hasara u ramamasına neden olmaktadır.



Şekil 4.2: 300 Tonluk basınç makinesinde 75x75x75 mm basınç deneyi sonuçları

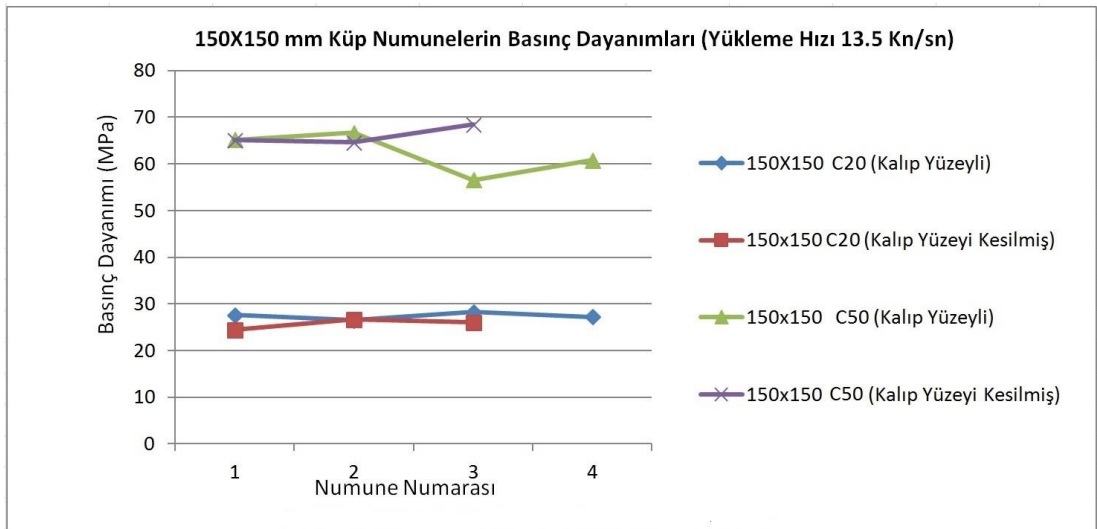
Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4 sonuçları cidar etkisi dikkate alındığında  ekil 4.1'in sonuçları ile benzerdir. Bu benzerlik yukarıda açıklanan nedenlerle aynıdır. C20 betonunda kesim yöntemine bağlı olarak betonun dayanımından kaynaklı olarak yapılan kesim sonrası betonun basınç dayanımı C50 betonuna nazaran daha fazla

düşmektedir.(Şekil4.6)

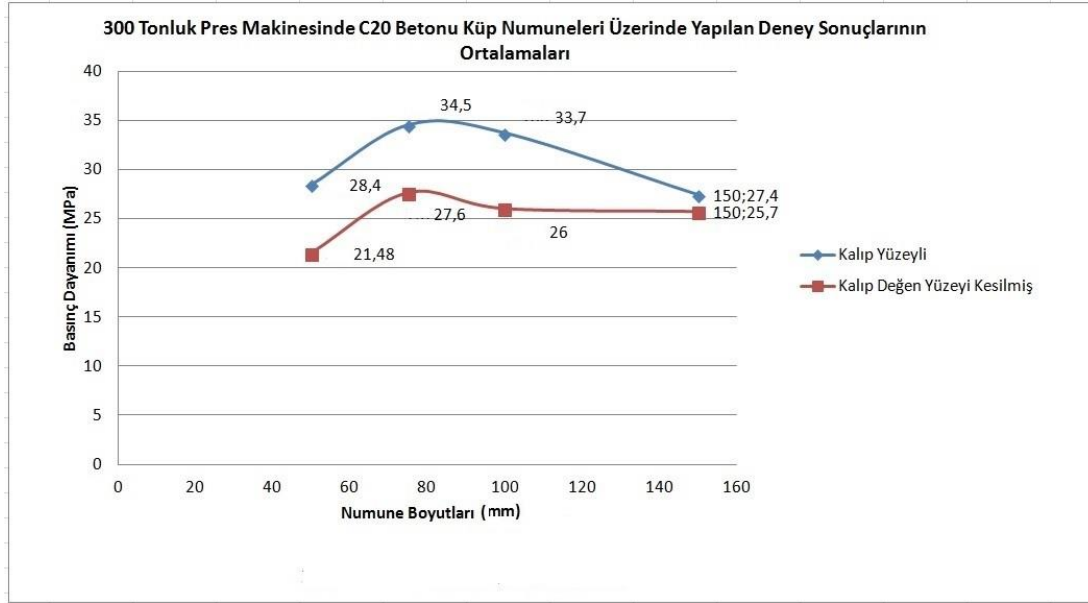


Şekil 4.3: 300 Tonluk basınç makinesinde 100x100x100 mm basınç deneyi sonuçları

Bu üç şekilde asıl dikkat edilmesi gereken numunelerin boyutlarının basınç dayanımına etkisidir. Grafiklerde görüldüğü üzere numunelerin ebatları büyüdükçe basınç dayanımları düşmüştür. 75x75x75 boyutlarındaki numunelerin basınç dayanımı her iki beton sınıfı için de en büyük sonucu vermiştir. Şekil 4.1 de 50x50'lik numunelerin kendi içerisinde değerlendirilmesi yapılmıştı, fakat 50x50'lik numunelerin Şekiller 4.2, 4.3 ve 4.4'le kıyaslaması yapıldığında 50x50'lerin her iki beton sınıfında da kesilmiş numunelerin kalıplanmış numunelerden daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu görülür.



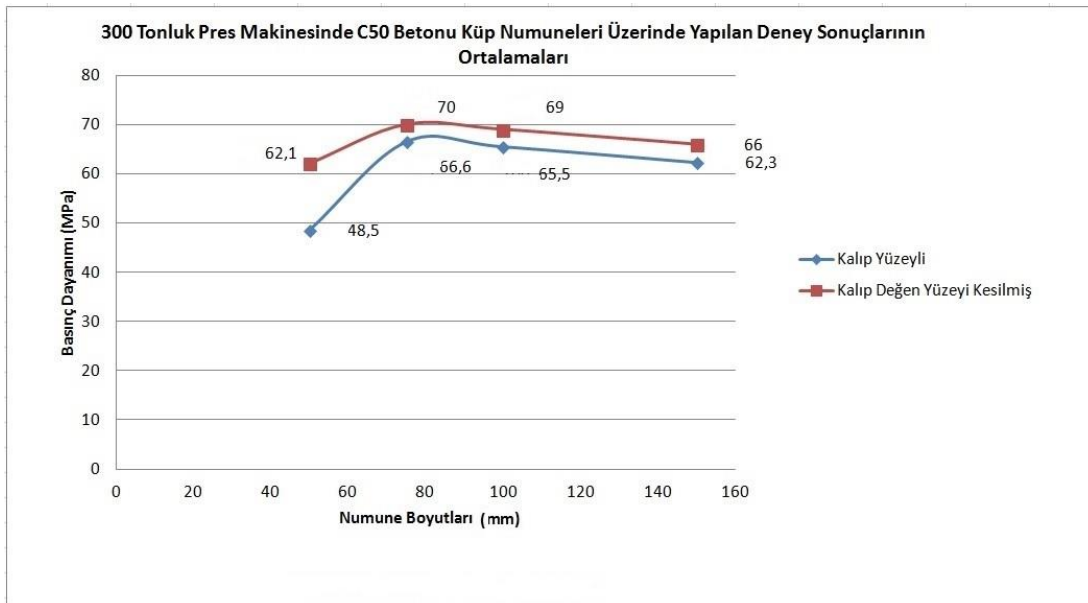
Şekil 4.4: 300 Tonluk basınç makinesinde 150x150x150 mm basınç deneyi sonuçları



Şekil 4.5: 300 Tonluk basınç makinesinde ortalama basınç deneyi sonuçları (C20)

Bunun nedeni küçük numunelerde kesim sırasında oluşan hasarın büyük boyutlulara göre daha büyük olmasıdır. Benzer bir çalışmada, kesilmiş numuneler için en düşük dayanım burada olduğu gibi 50x50x50 mm'lik numunelerde görülürken en büyük dayanımlar 100x100x100 mm'lik numunelerde elde edilmişti [18]. Bu sonuçlar altında Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 dan değerlendirme yapılacak olursa;

- Yüksek dayanımlı betonlarda, numunelerin kalıplanmış kenarlarından 50 mm içerden kesilmesi cidar etkisini yok etmekte, ayrıca dayanımın, dolayısı ile agrega-



Şekil 4.6: 300 Tonluk basınç makinesinde ortalama basınç deneyi sonuçları (C50)

çimento hamuru arasındaki aderansın yüksek oluşu kesme hasarını azaltmaktadır.

Bu nedenle yüksek dayanımlı betonlarda kesilmiş numuneler kalıp yüzeyli numunelerden daha yüksek dayanımlar vermiş, kesme hasarının daha düşük olduğu 75 mm ve üzeri boyutlu numunelerde boyut etkisi gözlemlenmiştir.

- Numunelerin ebatları büyüdükçe basınç dayanımlarının azalması hacimle birlikte kusurların artması nedeniyle doğaldır. Fakat bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde görüldüğü gibi normal dayanımlı betonlarda cidar etkisini ortadan kaldırmak için yapılan kesme çalışmaları sırasında beton numunelerde oluşan hasarlardan ötürü cidar etkisinin numuneler üzerinde yarattığı etkinin görülmesine engel olmuştur.

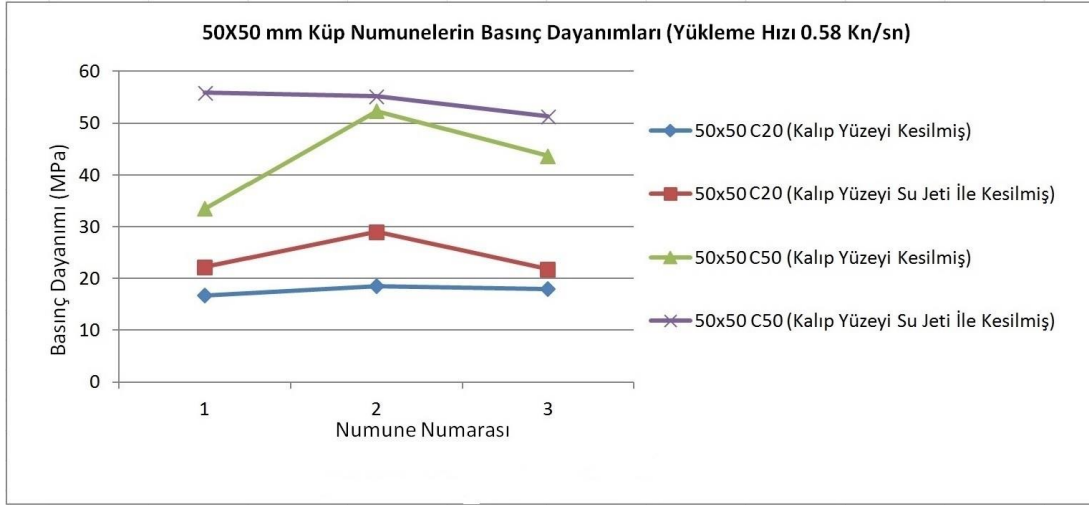
- Numunelerin boyutları (agrega çapı da dikkate alınarak) 75x75 mm'nin altına düştüğünde cidar etkisini azaltmak için yapılan kesim esnasında ciddi miktarda hasara uğramış ve bu hasar betonun sınıfı çok yüksek dahi olsa basınç dayanımında belirgin olarak azalmaya neden olmuştur.

- 50x50'lik cidar etkisi kaldırılmamış numunelerin basınç dayanımı oldukça düşük elde edilmiştir. Boyut etkisi düşünüldüğü takdirde daha yüksek çıkması gerektiği düşünülen bu numunelerin basınç dayanımının normalden daha düşük çıkmasının nedeni betonun heterojen yapısından kaynaklanmaktadır. Bölüm 2.3.6'da doğal taşlar üzerinde yapılan deneylerde ise boyutları en düşük numuneler en yüksek dayanımları vermiştir. 50x50'lik numuneler boyutları itibari ile en büyük agrega çapı 12 mm olan agregaların homojen olarak dağılmasına izin vermez. Bu nedenden dolayı bu boyuttaki numunelerin basınç dayanımı olması gerekenin oldukça altında olabilir.

4.1.3 500 Tonluk basınç makinesinde yapılan basınç deneylerinin sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.7 de 500 tonluk makinede kesilen 50x50x50 mm numunelerin sonuçları özetlenmiştir. Bu deney 300 tonluk makinede yapılan deneye nazaran daha yavaş bir yükleme hızı ile yapılmıştır. Şekilde görülen verilerde cidar etkisinin ortadan kaldırma yöntemi numunelerin basınç dayanımları üzerinde ciddi bir etki oluşturmuştur. Su jeti ile yapılan kesimlerde kullanılan makine tamamen su ile kesim yapmaktadır. 0.4 mm çapındaki suyun 4000 bar basınçla püskürtülmesi ile yapılmaktadır. Şekilde görülen değerler, su jeti ile yapılan kesim yönteminin beton numuneler üzerinde daha az hasar oluşturduğunu göstermiştir. Bunun en büyük

nedeni su jeti makinesinin beton numuneyi sarsmadan ve kesimi aynı hat üzerinde düz bir çizgi gibi yapabilmesidir.

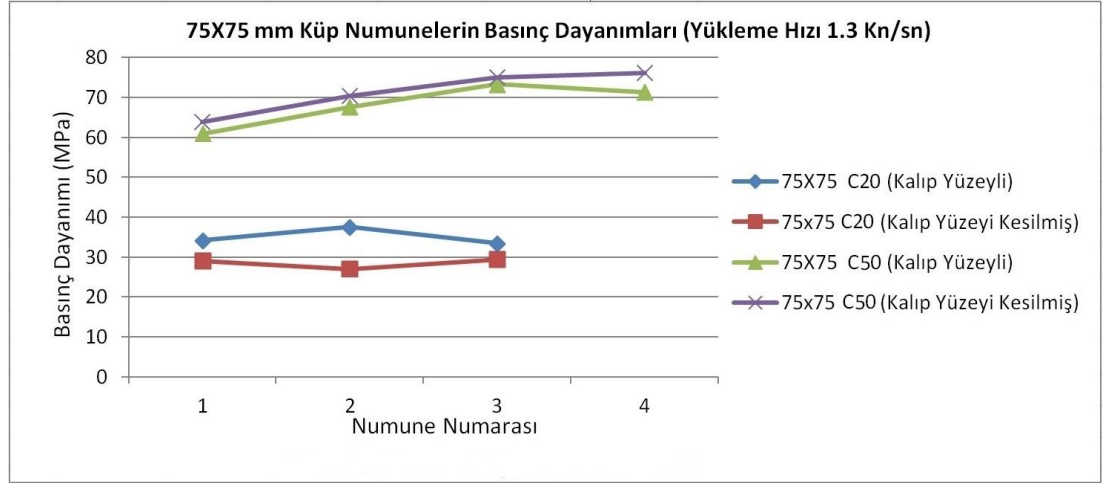


Şekil 4.7: 500 Tonluk basınç makinesinde 50x50x50 mm basınç deneyi sonuçları

Ayrıca iki farklı yükleme hızında yapılan aynı özelliklerdeki 50x50x50 mm cidar etkisi kaldırılmış numunelerin basınç dayanımları karşılaştırıldığında yükleme hızının basınç ve basınç aleti rijitliğinin dayanım üzerindeki etkisi net bir şekilde görülmektedir. İki yükleme hızı arasında 5.12 kat fark vardır. Yükleme hızı yükseldikçe basınç dayanımının daha yüksek çıktığı 4.1 ve 4.5 numaralı grafikler karşılaştırıldığında açıkça görülmektedir. Bunun nedeni Bölüm 2.2.2’de açıklanan yükleme hızının basınç dayanımları üzerindeki etkisidir.

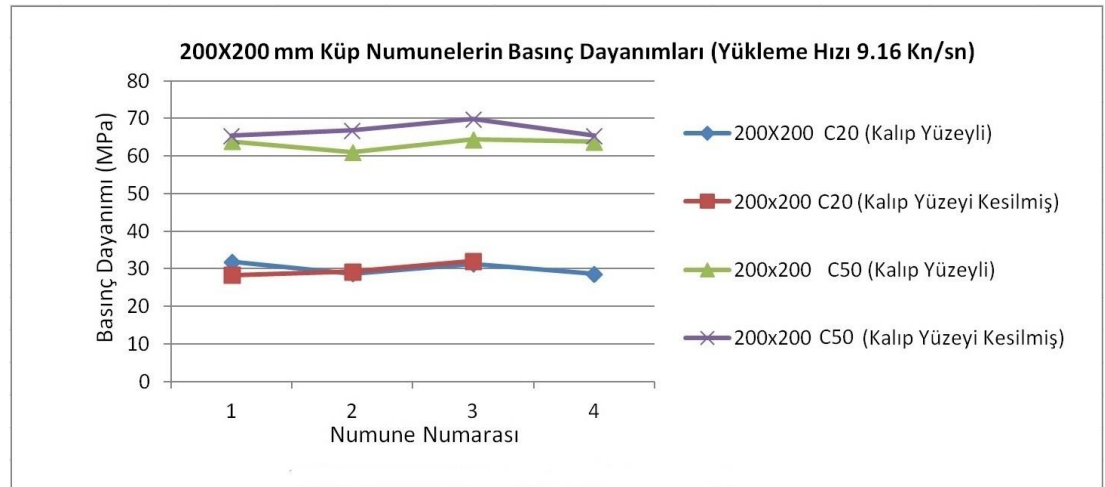
500 tonluk makinede yapılan deneylerde 75x75x75 mm'lik numunede C20 betonu için yükleme hızı 300 tonluk makineye göre yaklaşık 3 kat daha yavaş olmasından dolayı belirgin bir basınç dayanımı farkı görülmemiştir. 50x50x50'lik numuneye uygulanan yükleme hızı numunenin boyutları ile doğru orantılı olarak artırılıp 75x75x75'lik numuneye uygulanmıştır. Bu deney sonucunda da gözlenen sonuçlar 300 tonluk makineden 75x75x75'lik numune için tespit edilenlerle aynıdır. 75x75x75'lik numunenin basınç dayanımı her iki beton sınıfı içinde 50x50x50'lik numunelerden daha yüksektir. Ayrıca kesilen numuneler 50x50x50'lik numunelerden daha az hasar görmüştür. C20 betonu kesilirken çok fazla hasar görmeye devam etmiştir. Bunu C50 betonu ile C20 betonunun cidar etkisi kaldırılmış numuneleri üzerinde yapılan karşılaştırmada görebiliriz. Şekil 4.9 da 200x200x200'lük numunelerin değerlendirmesi yapılmıştır. C20 betonu için cidar etkisi diğer numunelerle olduğu gibidir.

Cidar etkisi kaldırılan beton numunelerin basınç dayanımı cidar etkisi kaldırılmayanlardan daha düşüktür.



Şekil 4.8: 500 Tonluk basınç makinesinde 75x75x75 mm basınç deneyi sonuçları

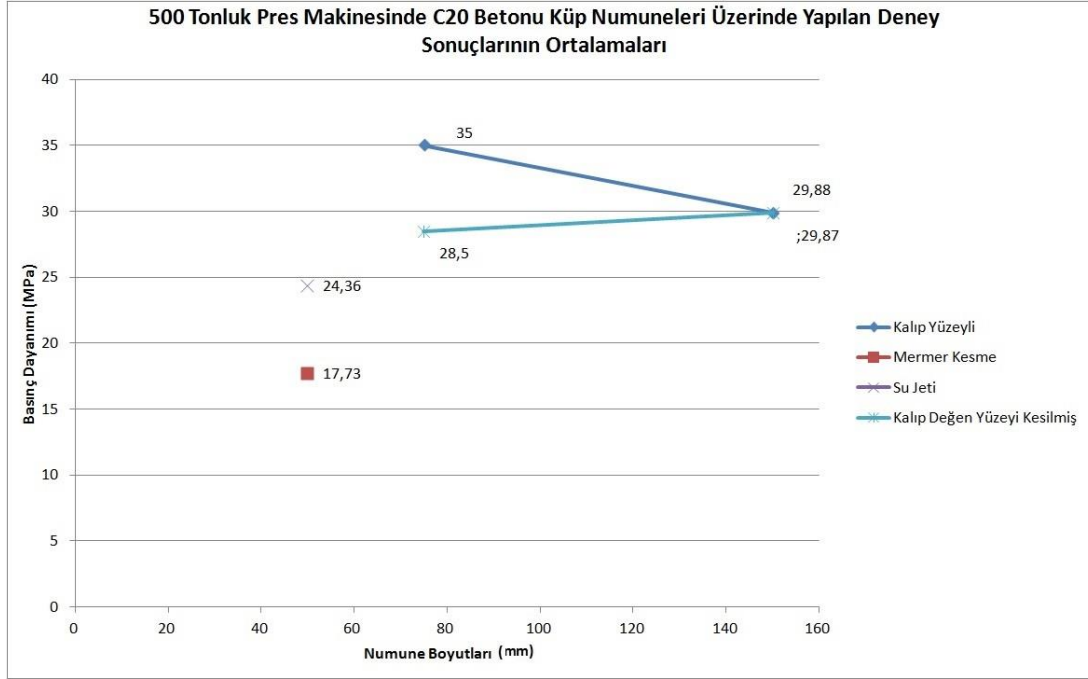
C20 betonunun kesilirken gördüğü hasarı bu boyuttaki numunede de görmek mümkündür. Ayrıca boyut etkisi de cidar etkisi olmayan numunelerde açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.9: 500 Tonluk basınç makinesinde 200x200x200 mm basınç deneyi sonuçları

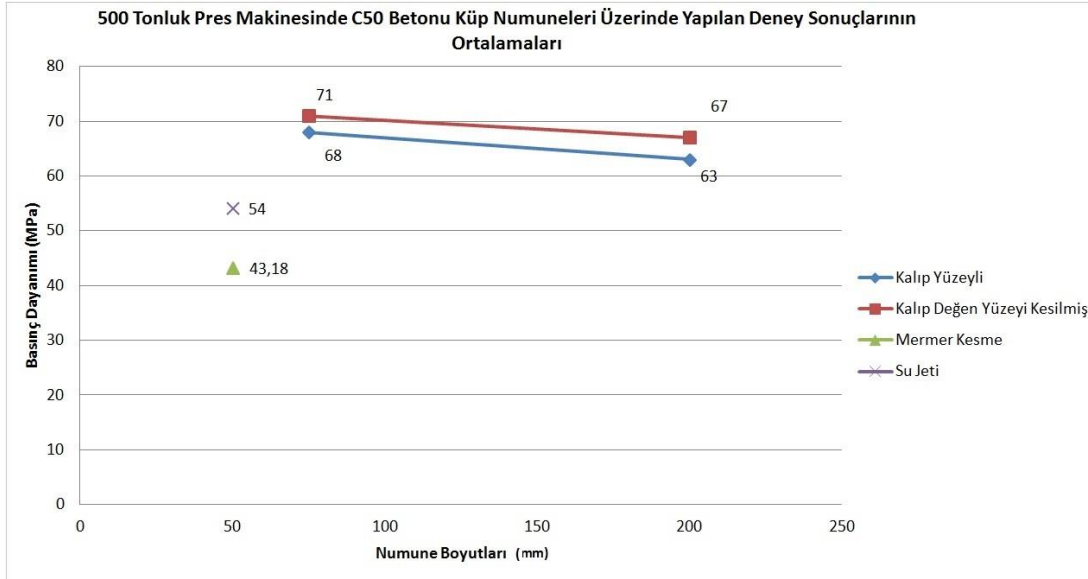
200x200x200 mm'lik numunelerin cidar etkisi kaldırılmayanlarındaki basınç dayanımı 75x75x75'lik numunelerden daha düşüktür. Cidar etkisi kaldırılan numuneler için durum biraz farklı görünmektedir. 75x75x75'lik numune ile 200x200x200'lük numunenin basınç dayanımı bir birine çok yakın gözükmektedir. Bunu kesim yapılırken uygulamada yapılan hatalarla açıklamamız mümkündür. Aynı şekilde C50 betonu için de değerlendirme yapılacak olursa benzer sonuçlar görülebi-

lir. 200x200x200'lük numunelerde C50 betonu için hem betondaki cidar etkisi hem numunenin boyut etkisi görülmektedir.



Şekil 4.10: 500 Tonluk basınç makinesinde ortalama basınç deneyi sonuçları (C20)

200x200x200'lük numunelerin basınç dayanım sonuçları 75x75x75'lik numunelerden her koşulda daha düşük sonuç verdiği görülmüştür.



Şekil 4.11: 500 Tonluk basınç makinesinde ortalama basınç deneyi sonuçları (C50)

5.SONUÇLAR

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda belli başlı bazı sonuçlar öne çıkmıştır. Boyut etkisini incelemek üzere yaptığımız çalışmalarda numunelerin boyutları büyüdükçe basınç dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Ancak 50x50x50 mm'lik numunelerin basınç dayanım sonuçları bu durumun genelleşmesinin önüne geçmektedir. Yapılan deneylerde en yüksek basınç dayanımını gösteren numuneler 75x75x75'lik olanlardır. 50x50x50'lik numunelerin boyutları 75x75x75'lik numunelerden daha küçük olmasına rağmen basınç dayanımları daha düşüktür. Bu konuda üç neden ileri sürülebilir:

- Numune boyutunun çok küçük olmasından dolayı agregaların numune kalıbına orantılı şekilde yerleştirilememesi,
- Basınç dayanımlarını ölçtüğümüz makinelerin çok küçük numuneler için uygun olmaması,
- Cidar etkisini yok etmek için uygulanan kesme işleminin küçük numunelerde daha fazla hasara neden olması.

Yapılan deneylerde ortaya çıkan en önemli sonuç normal dayanımlı betonda (C20) cidar etkisinin kesme ile ortadan kaldırıldığı numunelerin basınç dayanımı, kalıba değen yüzeyli numunelerden daha düşük çıkmıştır. Yüksek dayanımlı betonun basınç deney sonuçlarında ise durum tam tersidir. Cidar etkisi kaldırılan numunelerin basınç dayanımları bu betonlarda daha yüksek çıkmıştır. Bu farklı davranış düşük dayanımlı betonlarda kesme hasarının yüksek dayanımlılara göre daha büyük olması şeklinde açıklanabilir. Cidar etkisini boyut etkisi ile beraber ele aldığımızda ise 50x50x50'lik numunelerin her şeye rağmen 75x75x75'lik numunelerden daha düşük basınç dayanımı vermesidir. Bunun en önemli nedenleri olarak basınç deneyleri için kullanılan makinelerin çok küçük numuneler için uygun olmadığı ve küçük numunelerde boyut etkisi dışında homojenlik sorunu bulunması söylenebilir.

Cidar etkisini ortadan kaldırmak için uygulanan kesim yöntemi deney sonuçları üzerinde etkili olmuştur. Özellikle küçük numunelerde kesim esnasında ciddi

hasarlar oluşmuştur. Bu hasarları aynı boyutta kesim yapılmamış numunelerin basınç dayanım sonuçlarından görmek mümkündür. Kesim yöntemi olarak su jeti kullanılması bu hasarları azaltmaktadır.

Boyut etkisi C20 ve C50 sınıflarında, kenarları kesilmiş ya da kalıp yüzeyli olan 50x50x50 mm'nin üzerindeki boyutlara sahip tüm numunelerde grlmştur. En büyük dayanıma 75x75x75 mm'lik numunelerin sahip olduğu, bunu 100x100x100 mm ve daha sonra 150x150x150 mm boyutluların takip ettiği ve en düşük dayanıma 200x200x200 mm boyutlu numunelerin sahip olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Aitcin, P. C.** (1998). *High Performance Concrete*, University of Sherbrooke, Canada.
- [2] **Akakın, T., Uçar, S.** (1999). *Kimyasal Katkılar*, Türkiye Hazır Beton Birliği Teknik Çalışma Grubu, İstanbul.
- [3] **Akman, M. S.** (1990). Yapı Malzemeleri, Ders Notları, İTÜ. İnşaat Fakültesi.
- [4] **Arioğlu, E., Arioğlu, N.** (2005). *Beton Karot Deneyleri Ve Değerlendirilmesi*, Evrim Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.
- [5] **Arioğlu E., Arioğlu N., Girgin C.** (1999). *Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonlarda Numune Şekil-Boyut Etkisi*, Hazır Beton Dergisi, İstanbul.
- [6] **Erdoğan T.Y.** (2013). *Beton*, METU Yayınları, Ankara.
- [7] **Ersoy, U.** (2000). *Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı*, ODTÜ, Evrim Yayınları, Ankara, 18-24.
- [8] **Harran Üniversitesi**, (2009) *Yapı Malzemeleri Laboratuvarı Ders Notları*, <http://eng.harran.edu.tr>.
- [9] **Haris, H.G., Sabnis, G.M.** (1999). *Structural Modelling and Experimental Techniques*, CRC Pres Second Edition, 415-433.
- [10] **Lessard, M., Chaallal, O., Aitcin, P.C.** (1993). *Testing High Strength Concrete Compressive Strength*, *ACI Materials Journal*, **90**, 4, 303-308.
- [11] **Necmettin Erbakan Üniversitesi**, (2004). *Yapı Malzemeleri Laboratuvarı Ders Notları*, <http://www.konya.edu.tr>.
- [12] **Neville, A. M.** (1973). *Properties of Concrete*, Pitman Publishing, London.
- [13] **Popovics, S.** (1989) *Strength and Related Properties of Concrete: A Quantitative Approach*, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [14] **Postacıoğlu, B.** (1987). *Beton*, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- [15] **Özkul, M.H.** (2006). **Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M.** (1999). *Her Yönüyle Beton*, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- [16] **Şengül, C.** (2005). *Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranı ve Lif Dayanımının Etkisi*, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Taşdemir, M. A., Bayramov, F., Yerlikaya, M.** (2003). *Geleneksel Yüksek Performanslı Çelik Donatılı Betonlar*, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, TMMOB, **426**, 76-84.
- [18] **Türkel, A.**, *Betonun Basınç Dayanımına Numune Boyutunun Etkisi*, Y.L. Tezi, İTÜ. Fen B. E.
- [19] **Tokyay, M., Özdemir, M.** (1997). *Specimen Shape and Size Effect on the Compressive Strength of Higher Strength Concrete*, *Cement and Concrete Research*, **27**, 8, 1281-1289.
- [20] **Yavuz, E.**, 1995 . *Betondaki Boyut Etkisinin Bileşimle İlgisi*, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [21] **Yavuz,H., Sarı, D., Varol, M.** (2001),*Mermer ve Traverten Tek Eksenli Basınç Dayanımın Belirlenmesinde Boyut ve Şekil Etkisi, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Afyon.
- [22] **Yeğınobalı, A.** (2009). *Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı* TÇMB / AR-GE / Y 01.01, Ankara.
- [23] **Yılmaz, A.D.** (2003). *Yeni Kuşak Hiper akışkanlaştırıcı Beton Katkıları*, Türkiye Mühendislik Haberleri., **426**, 125-129.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad :Özgür Ararat

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul-1984

E-Posta : ozgur.ararat@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, YTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

2009-2010 Yılları arasında Namık Kemal Üniversitesi'nin konferans salonu ve yeni rektörlük binaları yapımında şantiye şefi olarak çalıştım .

2010'dan bu yana ise bir çok resmi kuruma inşaat taahhüt işleri yapan firmada şantiye şefi ve hakediş mühendisi olarak çalışmaktayım.